

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
Département du Génie de l'Environnement



Mémoire du projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme D'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement

Thème :

Traitement des lixiviats du C.E.T d'Ouled Fayet par la combinaison des Procédés : boues activée et oxydation Fenton

Proposé par:
Pr. R.KERBACHI
Abdellah

Etudié par :
Mr. TABOUCHOUNT

Dirigé par
Melle. F.BOUMECHHOUR

Soutenu devant le jury :

Président du jury :	Pr. BELHANECHÉ, prof. ENSP
Examineur :	Dr. ABDI, M.C. ENSP
	Mr. NAKIB, C.C. ENSP
Promoteurs :	Melle. F.BOUMECH'HOUR C.C U. Boumerdès
	Pr. R.KERBACHI prof. ENSP

Promotion Juin 2009

Remerciements

Ce travail a été effectué au niveau du laboratoire des sciences et technique de l'environnement (LSTE) du département de génie de l'environnement de l'école nationale polytechnique (ENP) sous la direction du Pr. R.KERBACHI.

Je tiens remercier mes promoteurs M^{elle} .F.BOUMECHHOURE, Pr. R.KERBACHI, pour ses aides précieuses, les conseils éclairés, et les encouragements, afin d'être ingénieur d'état en génie de l'environnement.

Ma reconnaissance va à l'égard du Pr. BELHANECHHE, professeur à l'école nationale polytechnique d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.

Je remercie les membres du jury Dr.ABDI, Mr.NAKIB de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner mon travail.

Je tiens également à remercier M^{elle} Assira CHEIKH et M^{elle} Oumessade ALI pour l'aide inestimable qu'elles m'ont apportées tout au long de cette étude.

Nos sincères remerciements vont aussi à M^{me} BOUCHFER, ainsi que Nabila, Sabrina et Anis de L'O.N.A de BARAKI et tout le personnel du Centre d'Enfouissement Technique de Ouled Fayet en particulier M^{elle} Fatiha CHEDEBA, et le chauffeur éboueur de NET-COM qui nous a assuré le transport.

Je suis aussi reconnaissant à toute personne ayant contribué à la réalisation de ce travail, particulièrement les ingénieurs et étudiants en post graduation du département Génie de l'Environnement pour leur soutien. Je tiens également à remercier mes amis chacun par son nom, spécialement à Poulina et le groupe d'EL-GHORFA.

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I- Notions de déchets.....	5
I-1 Définition des déchet.....	5
I-2 Contexte juridique.....	6
I-3 Classification des déchets.....	7
I-3-1 Selon leur nature.....	7
I-3-2 Selon le mode de traitement et d'élimination.....	7
I-3-3 Selon le comportement et les effets sur l'environnement.....	7
I-3-4 Selon l'origine.....	7
I-4 Les déchets ménagers	8
I-4-1 Définitions.....	8
I-4-2 Déchets assimilables aux déchets ménagers.....	8
I-4-3 Production et évolution des déchets ménagers.....	9
I-4-3-1 Quantités générées et leur variabilité.....	9
I-4-3-2 Mesure de la production des déchets ménagers.....	10
I-4-3-3 Quelques exemples de production (kg/hab. / j ou par an).....	10
I-4-4 Les acteurs de la gestion de déchets en Algérie.....	11
I-4-4-1 Le secteur public en Algérie.....	11
I-4-4-2 Le secteur privé / Les ONG en Algérie.....	11
I-4-5 Caractères physico-chimiques des déchets ménagers.....	11
I-4-5-1 La composition.....	11
I-4-5-2 Densité (ou masse volumique)	12
I-4-5-3 Humidité et pouvoir calorifique.....	12
I-4-5-3-a) L'humidité (H %)	12
I-4-5-3-b) Le pouvoir calorifique.....	12
I-4-5-4 Rapport carbone/azote (C/N)	13
I-4-5-5 Variabilités des différents paramètres.....	13
I-4-5-6 Intérêt des déchets ménagers.....	13
I-5 Transport et traitement des déchets collectés.....	14
I-6 Le centre d'enfouissement technique et la décharge contrôlée.....	14
I-6-1 Le centre d'enfouissement technique (CET)	14
I-6-2 La décharge contrôlée.....	15
I-7 Différents modes de traitement des déchets ménagers.....	16
I-7-1 Traitement thermique ou Incinération.....	16

I-7-2 Traitement biologique aérobie : le compostage.....	16
I-7-2-a) Historique.....	16
I-7-2-b) Définitions.....	17
I-7-2-c) Objectifs.....	17
I-7-3 Traitement biologique anaérobie : la méthanisation	17
I-7-3-a) Historique.....	17
I-7-3-b) Objectifs.....	17
I-7-4 Le traitement mixte.....	17
I-8 Données nationales.....	18
II-Présentation et exploitation de centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet.....	20
II-1 Présentation du CET d'Ouled Fayet.....	20
II-1-1 Contexte.....	20
II-1-2 Origine et flux des déchets entrants.....	22
II-1-3 Conception et Réalisation du CET d'Ouled Fayet	23
II-1-3-1 Les casiers d'enfouissement.....	23
II-1-3-2 Imperméabilisation des casiers d'enfouissement.....	24
II-1-3-3 Géomembrane.....	25
II-1-3-4 Réseau de drainage des lixiviats.....	26
II-1-3-5 Elimination des biogaz.....	26
II-1-3-6 Bassin de décantation de lixiviats.....	26
II-1-4 Nuisances de CET d'Ouled Fayet sur l'environnement.....	27
III. Généralités sur les lixiviats.....	30
III-1 Définition.....	30
III-1-1 Mécanismes biologiques aérobie.....	31
III-1-2 Mécanismes biologiques anaérobies.....	31
III-1-3 Mécanismes physico-chimiques.....	32
III-2 Indicateurs chimiques dans le lixiviat.....	34
III-2-1 Evolution du pH.....	34
III-2-2 Le carbone organique dissous.....	35
III-2-3 Le rapport DBO5/DCO.....	35
III-2-4 L'indice SUVA.....	35
III-2-5 Le rapport E4/E6.....	35
III-4 Impact des lixiviats sur l'environnement.....	36
III-4-1 Type de pollution sur l'homme et l'environnement.....	36
III-4-1-1 Le chrome.....	36
III-4-1-1-a)-Effet biologique sur l'homme.....	36
III-4-1-1-b) Effet biologique sur les algues et les plantes aquatiques.....	36
III-4-1-1-c) Effet biologique sur les micro-organismes.....	36
III-4-1-2 Le fer.....	36
III-4-1-2-a) Effet biologique sur l'homme.....	36
III-4-1-2-b) Effet biologique sur les poissons.....	36
III-4-1-2-c) Effet biologique sur les végétaux.....	36
III-4-1-3 Le zinc.....	37

III-4-1-3-a) Effet biologique sur l'homme.....	37
III-4-1-3-b) Effet sur les micro-organismes.....	37
III-4-1-3-c) Effet sur les poissons.....	37
III-4-1-3-d) Effet sur les végétaux.....	37
III-4-1-4 Les phosphate.....	37
III-4-1-4-a) Effet sur les algues.....	37
III-4-1-4-b) Effet biologique sur les poissons.....	37
III-4-1-5 Les graisses et les huiles.....	37
III-4-2 Propagation de la pollution dans la nappe.....	38
III-5 Traitement des lixiviats.....	39
III-5-1 Traitement physico-chimiques.....	39
III-5-1-a) Coagulation-floculation.....	39
III-5-2 Traitement par filtration.....	39
III-5-2-a) Filtration sur charbon actif.....	39
III-5-3 Traitement par oxydation.....	40
III-5-3-1 Le traitement chimique classique.....	40
III-5-3-2 Les procédés d'oxydation avancée	40
III-5-3-3 Le procédé d'oxydation fenton.....	41
III-5-4 Traitement membranaires.....	43
III-5-4-b) Nanofiltration.....	43
III-5-4-c) Ultrafiltration.....	43
III-5-4-d) Microfiltration (M.F.)	43
III-5-4-e) Résines échangeuses d'ions.....	44
III-5-5 Traitement biologique.....	44
III-5-5-1 Lagunage.....	44
III-5-5-1-a) Lagunage naturel (aérobie)	44
III-5-5-1-b) Lagunage aéré.....	44
III-5-5-1-c) Lagunage anaérobie.....	44
III-5-5-2 boues activées.....	45
III-5-5-2-a) Description du procédé d'épuration à boues activées.....	45
III-5-5-2-b Les microorganismes intervenant dans le procédé.....	46
III-5-5-2-c) Analyse microscopique des boues activées.....	48
III-5-5-2-d) Le foisonnement des boues activées : problèmes dus aux bactéries	48
III-5-5-2-e) Pourquoi traiter les lixiviats de CET par voie biologique.....	49
III-5-5-2-f) Mise en œuvre de traitement biologique.....	49
III-5-5-3 Culture fixée.....	50
III-5-5-3-a) Le film biologique.....	50
III-5-5-3-b) Lits à ruissellement (lits bactériens)	51
III-5-5-3-c) Lits granulaires.....	51
III-5-6 Combinaisons de traitements.....	51
III-5-7 Bioréacteur à membranes (BRM)	52
Partie II : Partie expérimentale.....	53
I-Matériels, Méthodes et Procédés.....	54

I-1- Site de prélèvement.....	54
I-2-Campagnes de prélèvements.....	54
I-3-Procédés expérimentales.....	55
I-3-1- Caractérisation des lixiviats.....	55
I-3-1-a) Caractérisation quantitative.....	55
I-3-1-b) Caractérisation qualitative.....	55
I-3-2 Traitement des lixiviat jeunes.....	56
I-3-2-a) Traitement par procédé de boue activée.....	56
I-3-2-b) Traitement par procédé d'oxydation avancée « Fenton »	56
II-Résultats et interprétation.....	54
II. 1-Caractérisation du lixiviat jeune.....	57
II. 2-Interprétation.....	59
II. 3-Traitement du lixiviat jeune.....	62
II. 3-1 Traitement par les boues activées.....	62
II. 3-1-a) Influence des quantités des boues activées ajoutées sur le traitement du lixiviat	62
II. 3-1-b) Eude à l'échelle laboratoire du recyclage de la boue.....	63
II. 3-2 Traitement par Fenton oxydation (H_2O_2 / Fe^{+2})	65
II. 3-2-a) Optimisation du rapport Molaire $[H_2O_2] / [Fe^{+2}]$	65
II. 3-2-b) Optimisation des doses de H_2O_2 et Fe^{+2}	66
II. 3-2-c) Optimisation du pH.....	66
II. 3-2-d) Optimisation du temps.....	67
II. 3-3 Traitement des lixiviats par combinaison de boue activée et l'oxydation Fenton.....	67
II. 3-3-a) Traitement des lixiviats jeunes par boues activée suivi de l'oxydation Fenton	68
II. 3-3-b) Caractéristiques des lixiviats traités.....	68
CONCLUSION GENERALE.....	70

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Liste des tableaux

<u>Tableau I.1</u> : Quelques exemples de production de déchets par pays et par habitant.....	10
<u>Tableau I.2</u> : Evolution du volume de déchets et des moyens affectés à la gestion des déchets à Alger (Algérie).....	11
<u>Tableau I.3</u> : Quelques exemples de densités des déchets ménagers.....	12
<u>Tableau I.4</u> : Avantages et inconvénients des différents types de traitements.....	18
<u>Tableau II.1</u> : Composition par catégorie des déchets entrants du CET d'Ouled Fayet.....	22
<u>Tableau II.2</u> : Composition globale des déchets enfouis.....	23
<u>Tableau II.3</u> : Exploitation des casiers d'enfouissement du CET d'Ouled Fayet.....	23
<u>Tableau II.4</u> : Nuisances et impacts.....	29
<u>Tableau III.1</u> : Caractéristiques des lixiviats d'ordures ménagères.....	30
<u>Tableau III.2</u> : Composition moyenne d'un lixiviat en phase acidogène et méthanogène (Unités en mg/L sauf pour le pH).....	33
<u>Tableau III.3</u> : Comparaison des lixiviats selon l'âge de la décharge.....	34
<u>Tableau III.4</u> : Evolution du pH des lixiviats en fonction du temps.....	34
<u>Tableau III.5</u> : Biodégradabilité et stabilité des déchets en fonction du rapport DBO5/DCO.....	35
<u>Tableau III.7</u> : Groupes de polluants en fonction de leur possibilité d'atténuation.....	38
<u>Tableau III.8</u> : classification des procédés d'oxydation avancées.....	41
<u>Tableau III.9</u> : Liste limitée des réactions pouvant intervenir dans le système de procédé Fenton et constantes cinétiques correspondantes.....	42
<u>Tableau III.10</u> : Efficacité de certains traitements uniques et combinés.....	51
<u>Tableau III.11</u> : Avantages et inconvénients des différents procédés.....	52
<u>Tableau IV.1</u> : Les caractéristiques des journées de prélèvement.....	55
<u>Tableau IV.2</u> : Principe et références des méthodes d'analyse.....	55
<u>Tableau V.1</u> : Caractérisation des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet « point de prélèvement P ».....	58
<u>Tableau V.2</u> : évolution de la DCO en fonction de temps.....	62
<u>Tableau V.3</u> : évolution de la DCO avec recyclage des boues.....	64
<u>Tableau V.4</u> : Optimisation du rapport $[H_2O_2]/[Fe^{+2}]$	65
<u>Tableau V.5</u> : Optimisation des doses de H_2O_2 et Fe^{+2}	66
<u>Tableau V.6</u> : Optimisation du pH.....	67
<u>Tableau V.7</u> : Optimisation du temps.....	67
<u>Tableau V.8</u> : Caractérisation des lixiviats jeune avant et après les différents traitements.....	69

Liste des figures

Figure II.1 : Vue aérienne de la décharge de Ouled Fayet.....	21
Figure II.2 : Schéma Représentatif de Centre d'enfouissement Technique d'Ouled Fayet.....	21
Figure II.3 : Schéma Représentatif d'un casier d'enfouissement technique.....	24
Figure II.4 : L'exploitation du casier N° 5.....	25
Figure II.5 : mise et soudure de la GMB.....	25
Figure II.6 : Géotextile.....	25
Figure II.7 : Déversement de la couche de gravier.....	26
Figure II.8 : Tube de drainage.....	26
Figure II.9 : Conduite de drainage des lixiviats.....	26
Figure II.10 : les buses d'évacuation de Biogaz.....	27
Figure II.11 : Le bassin de décantation de lixiviats.....	27
Figure II.12 : Réceptacle finale de lixiviats vers l'Oued Ben Brahem.....	28
Figure III.1 : Mécanismes de la fermentation anaérobie.....	31
Figure III.2 : Évolution idéalisée, en fonction du temps, des effluents liquides et gazeux d'une décharge d'ordures ménagères.....	33
Figure III.3 : Schéma du principe d'une installation à boue activée.....	46
Figure III.4 : La microflore et la microfaune de la boue activée.....	47
Figure IV.1 : Schéma représentant la décharge et le point de prélèvement du lixiviat jeune « P ».....	54
Figure IV.2 : l'installation de traitement biologique.....	56
Figure IV.3 : l'optimisation des paramètres de procédé Fenton.....	57
Figure V.1 : Cinétique de biodégradation et effets des différentes quantités de boue.....	63
Figure V.2 : Schéma de recyclage de boues.....	64
Figure V.3 : Effets du recyclage des boues sur l'efficacité de traitement.....	64
Figure V.4 : Optimisation du rapport Molaire $[H_2O_2]/ [Fe^{+2}]$	65
Figure V.5 : Optimisation des doses de H_2O_2 et Fe^{+2}	66
Figure V.6 : Optimisation du pH.....	67
Figure V.7 : effet du temps sur la réaction Fenton.....	68

Liste des abréviations

AND : Agence Nationale de Déchets
C.E.T : Centre d'Enfouissement Technique de Déchets
ONG : Organisation Non Gouvernementale
OM : Ordures Ménagères
PROGDEM : Programme de Gestion intégrée des Déchets Ménagers
MATET : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (Algérie)
% H : Pourcentage Humidité
PCS : le pouvoir calorifique supérieur.
PCI : le pouvoir calorifique inférieur.
Hu : Humidité
PEHD : Polyéthylène Haut Densité.
PVC : polychlorure de vinyle.
UV : Ultraviolet.
GMB : Géomembrane
DCO : Demande Chimique en Oxygène.
DBO Demande Biochimique en Oxygène
DBO5 Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours
AGV : Acides volatils secs.
CSD : Centre de Stockage de Déchets
COD : Carbone Organique Dissous
MES : Matière en suspension.
MVS : Matière volatile sèche.
UF : Ultrafiltration
NF : Nanofiltration
E4/E6 : Absorbance 465/ Absorbance 665
SUVA : Spécific UV Absorbance
NTK : Azote Kjeldahl.
PC : Pouvoir Calorifique.
BRM : Bio réacteur à membranes.
P.C.B : Polychlorobiphényle
C.F.C : Chlorofluorocarbure
PIB : Produit intérieur brut
CNC : combustibles non classés
INC : incombustibles non classés
EPDM : Ethylène propylène diène monomère
POA : Procédés d'oxydation avancés

**INTRODUCTION
GENERALE**

INTRODUCTION GENERALE

Avec l'augmentation de la population et l'émergence des nouveaux modes de consommation favorisant l'emballage individuel, le secteur des déchets et de leur traitement s'affirme aujourd'hui comme une priorité majeure de notre société. D'après Agence Nationale des Déchets (AND), l'Algérie génère chaque année 10 à 12 millions tonnes de déchets ménagers. Chaque année 200000 tonnes de déchets d'emballages sont rejetées en Algérie, les plastiques constituent 95% de ces emballages, et les métaux représentent les 5% restants [1].

Aujourd'hui, et avec la croissance démographique, l'urbanisation, et le changement du niveau de vie, La gestion des déchets en Algérie, rencontre de très nombreuses difficultés, tant du point de vue technique, économique, que méthodologique et organisationnel. A titre d'exemple pour la seule Wilaya d'Alger la quantité d'ordures ménagères rejetées est passée de 0,35 kg/hab/j en 1968 à 1 kg/hab/j en 2003 [2].

La décharge contrôlée est le maillon ultime de toute filière de traitement des déchets, qu'ils soient d'origine domestique ou industrielle. Elle est le lieu d'élimination ou d'entreposage des résidus ultimes des chaînes de traitement des ordures, si élaborées soient-elles; et dans de nombreuses situations, elle constitue encore la seule forme de traitement du déchet. Dans le cas des ordures ménagères, trois filières principales d'élimination des déchets sont le plus souvent envisagées: la mise en décharge, l'incinération et le compostage. Ces deux derniers modes de traitement supposent par ailleurs une étape préliminaire de tri qui engendre inévitablement un refus, ils génèrent en outre des résidus qui sont le plus souvent admis en décharge.

Donc la mise en décharge présente l'avantage d'éliminer d'importants volumes à des coûts raisonnables. Pour cela, le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme, a programmé la réalisation de 300 centres d'enfouissement technique (CET), et décharges contrôlées. Déjà 90 projets sont achevés ou en voie d'achèvement [3].

La quantité de déchets enfouis sur le site de Ouled Fayet est en pleine croissance. Le nombre de communes desservies augmente chaque année. La quantité de déchets enfouis est passée de 13 026 T, soit environ 72 T/j, en 2001 à 315 338 T, soit une moyenne de 864 T/j, en 2005. A noter que l'enfouissement dans le premier casier a réellement démarré le deuxième semestre de 2001. Le nombre de communes desservies est passé de 6 à 34 [4].

Les déchets ainsi déversés ne sont que très rarement totalement inertes et de nombreuses réactions physico-chimiques et biologiques interviennent à la fois entre le déchet et le milieu dans lequel il se trouve (roches, sol, nappes, eaux de percolation), mais également au sein même des déchets d'origines diverses. L'évolution des déchets en décharge et leurs interactions avec le milieu extérieur conduisent à la dispersion de flux polluants, essentiellement à travers l'émergence de lixiviats qui résultent de la mise en solution par voies physico-chimique et biologiques, des éléments polluants dans les eaux de percolations. Citons aussi une deuxième source de pollution que sont les émanations de biogaz, produits finaux des métabolismes de décomposition biologique au sein de la décharge. Si les flux de carbone libérés des déchets sous forme de biogaz sont plus importants, l'essentiel des éléments polluants indésirables se trouvent dans les lixiviats. Ainsi, des métaux, des molécules

organiques plus ou moins biodégradables et des quantités importantes d'azote ammoniacal se trouvent concentrées dans les lixiviats.

En effet la décharge se comporte comme un réacteur biologique dont l'évolution est bien connue et passe par des étapes d'hydrolyse, d'acidogénèse et de méthanogénèse bien décrites dans la littérature.

Les lixiviats représentent une grande part de la pollution liée à une charge. Contrairement au biogaz, qui aisément dispersé dans l'atmosphère, les lixiviats, de part leur nature liquide, sont une source concentrée de polluants. Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits d'eau de consommation et donc de priver la population d'un élément vital à sa survie.

En cas de consommation d'une eau polluée par des lixiviats, les risques encourus sont de graves intoxications pouvant entraîner des maladies irréversibles et la mort. Signalons également que la pollution des réserves d'eau potable par des micro-organismes pathogènes peut provoquer des épidémies.

Au-delà de ces considérations, les lixiviats doivent être traités comme des substances extrêmement dangereuses. Il est nécessaire d'en organiser la collecte et le traitement afin de limiter au maximum les conséquences sur l'environnement.

L'objectif de ce travail est d'étudier les caractéristiques d'un lixiviat jeune produit par le C.E.T d'Ouled Fayet, ainsi de le traiter par une combinaison de deux procédés : boue activée et Oxydation-Fenton, afin de minimiser la pollution par ces jus, et ses nuisances sur l'environnement et la santé humaine.

Ce mémoire est composé de deux parties :

La première est une synthèse bibliographique qui se décompose en trois chapitres. Le premier fait état de la problématique des déchets ménagers et assimilés, en particulier en Algérie, en rappelant dans un premier temps la réglementation encadrant la gestion de ces déchets, puis dans un second temps leur évolution, composition physico-chimique et enfin les paramètres clés de leur dégradation et les principaux modes d'élimination et de traitement. Le deuxième chapitre présente une description du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet, situation géographique, conception et l'exploitation des casiers d'enfouissement, ainsi que son l'impact sur l'environnement. Le dernier chapitre met un point sur la connaissance des lixiviats de décharge, définition, évolution et composition en fonction de temps, modèles de prédiction de production et de composition de lixiviat, l'impact de lixiviat sur l'environnement, et enfin quelques procédés utilisés pour le traitement des lixiviats.

La seconde partie dédiée partie expérimentale se décompose en deux chapitres : le premier, « Matériels, Méthodes et Procédés », permet de définir les différents matériels et produits utilisés dans cette étude, ainsi une description de procédé de traitement choisi. Le deuxième chapitre de cette partie « résultat et interprétation » reprend l'ensemble des résultats obtenus tout au long de cette étude, et puis une interprétation des résultats obtenus par chaque procédé de traitement, ainsi que par le traitement combiné.

**PARTIE I : SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I. NOTIONS DE DECHETS

I-1 Définition des déchets

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet.

Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus intéressantes [3] :

- ✓ Le déchet est un résidu abandonné par son propriétaire, car inutilisable, sale ou encombrant.
- ✓ « Est considéré comme déchet, tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon »
- ✓ Les déchets sont des résidus de l'emploi de matières solides qui peuvent être putrescibles ou non putrescibles.
- ✓ Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses La Loi N°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête (officiellement) les définitions des différents types de déchets comme suit :

« **Déchets** : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. »

« **Déchets ménagers et assimilés** : tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers. »

« **Déchets encombrants** : tous déchets issus des ménages qui en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés. »

« **Déchets spéciaux** : tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes. »

« **Déchets spéciaux dangereux** : tous déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement. »

« **Déchets d'activité de soins** : tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.»

« **Déchets inertes** : tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont

pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement.»

I-2 Contexte juridique en Algérie

En Algérie le décret 84 – 378 du 15 décembre 1984, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains stipule que « l'Assemblée populaire organise, dans les conditions définies par le présent chapitre, sur son territoire, soit directement, soit en association par l'intermédiaire d'organismes intercommunaux et / ou appropriés, un service de collecte et d'élimination des déchets solides urbains, à l'exclusion de certains déchets ».

Conformément aux dispositions de la loi N°90 – 08 et à la loi 19 – 01, la gestion des déchets ménagers et assimilés est à la charge de l'assemblée populaire communale qui organise sur son territoire, un service public en vue de satisfaire les besoins de ses citoyens en matière de collecte, de tri, de transport, de valorisation ou d'élimination de ces déchets.

L'assemblée populaire communale peut concéder la gestion des déchets ménagers et assimilés à des tiers, mais elle reste toujours responsable de son exécution. Aussi les assemblées communales de deux ou plusieurs communes peuvent s'associer pour la gestion des déchets. D'autres textes de loi viennent renforcer la volonté du pouvoir de protéger l'environnement [6] :

- **Loi N°90-08** du 18/03/1990 portant code communal
- **Loi N°03-10** du 19/07/2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- **Décret exécutif n° 02-175** du 20/05/2002 portant création de l'Agence Nationale des Déchets.
- **Décret exécutif n° 02-372** du 11/11/2002 relatif aux déchets d'emballages.
- **Décret exécutif n° 04-199** du 19/07/2004 fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système public de traitement et de valorisation des déchets d'emballages « ECO-JEM ».
- **Décret exécutif N°04-210** du 28/07/2004 définissant les modalités de détermination des caractéristiques techniques des emballages destinés à contenir directement des produits alimentaires ou des objets destinés à être manipulés par les enfants.
- **Décret exécutif n° 04-410** du 14/12/2004 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations.
- **Décret exécutif 07-205** du 30/06/2007 fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés.
- **Arrêté interministériel** du 06/04/2004 fixant les caractéristiques techniques des sacs plastiques destinés à contenir directement des produits alimentaires.

I-3 Classification des déchets

I-3-1 Selon leur nature :

La classification des déchets d'après leur nature aboutit à trois catégories essentielles : déchets solides, déchets liquides et déchets gazeux.

Dans ce qui suit, il ne sera considéré que les déchets solides et semi-solides étant donné le contexte et l'objet du présent guide [3].

I-3-2 Selon le mode de traitement et d'élimination :

Professionnels et chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles, selon [3] :

- ✓ Les déchets inertes : Généralement constitués d'éléments minéraux stables ou inertes au sens de leur incompatibilité avec l'environnement et qui proviennent de certaines activités d'extraction minières ou de déblais de démolition (terre, gravats, sables, stériles, ...etc.)
- ✓ Les déchets banals : Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons, bois produit par des activités industrielles ou commerciales et déchets ménagers.
- ✓ Les déchets spéciaux : Ils peuvent contenir des éléments polluants et sont spécifiquement issus de l'activité industrielle (boues de peintures ou d'hydroxyde métallique, cendres d'incinération...etc.). Certains déchets sont aussi dits spéciaux lorsque leur production importante sur un même site entraîne des effets préjudiciables pour le milieu naturel (mâchefers des centrales thermiques, phosphogypse, ainsi que certains déchets provenant des laboratoires universitaires et hospitaliers...etc.).
- ✓ Les déchets dangereux : Issus de la famille des déchets spéciaux, ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour le milieu naturel (poussières d'aciéries, rejets organiques complexes, bains de traitement de surface contenant soit du chrome, cyanure ou une forte acidité, les matériaux souillés par les P.C.B., les déchets de C.F.C. et mercuriels.

I-3-3 Selon le comportement et les effets sur l'environnement

A ce titre on distingue :

- ✓ Les déchets inertes : Pouvant être différenciés suivant leur caractère plus ou moins encombrant, en débris plus ou moins volumineux jusqu'aux carcasses d'automobiles, chars, avions, bus,...etc.
- ✓ Les déchets fermentescibles : Principalement constitués par la matière organique, animale ou végétale à différents stades de fermentation aérobies ou anaérobies.
- ✓ Les déchets toxiques : Poisons chimiques ou radioactifs qui sont générés soit par des industries, soit par des laboratoires ou tout simplement par des particuliers qui se débarrassent avec leurs ordures de certains résidus qui devraient être récupérés séparément (ex . : flacons de médicaments, seringues, piles et autres gadgets électroniques ...etc.)

I-3-4 Selon l'origine

On a deux grandes classes de déchets solides en se basant sur la source de déchets : déchets industriels et déchets urbains.

- Les déchets industriels : Hormis les résidus assimilables aux ordures ménagères, tant par leur nature que par leur volume modeste, on distingue dans cette classe :
 - Les déchets inertes : Provenant de chantiers de construction, transformation des combustibles et de l'énergie (gravats, cendre, ...etc.), métallurgie (scorie, laitiers, mâchefers, ...etc.).
 - Les déchets des industries agricoles et alimentaires
 - Les déchets pouvant contenir des substances toxiques par des industries variables (ex. : ateliers artisanaux, galvanoplastie, chromage, miroiterie,...etc.).
 - Les déchets radioactifs : Le transport et la destruction des déchets industriels posent des problèmes particuliers dont la solution –consentie ou imposée– devra être à la charge des industries polluantes avec si besoin une aide appropriée des gouvernements.
- Les déchets urbains : A partir de la notion « d'ordure ménagère », vocable par lequel on a longtemps désigné les résidus des ménages correspondant, de par leur origine et leur nature, à une certaine limitation en quantité et en dimensions, on a été conduit du fait de l'évolution du niveau de vie répercuté par les caractéristiques quantitatives et qualitatives des déchets, à passer à la notion plus générale de résidus ou déchets urbains. Selon le mode d'enlèvement des déchets on distingue quatre catégories :
 - Les déchets constitués par des éléments de faible dimension (ordures ménagères, ordures de marché, déchets artisanaux et commerciaux assimilables aux ordures ménagères.
 - Les déchets hospitaliers qui, sans exceptions, font l'objet de collecte séparée.
 - Les déchets encombrant appelés aussi « monstre » constitués par des objets volumineux qui ont été réformés et mis au rebus (vielle baignoire, vieux sommier...etc.)
 - Les souillures qui proviennent du nettoyage et du balayage des voies publiques (feuilles, branchage, déchets des plages, ...etc.).

I-4 Les déchets ménagers

I-4-1 Définitions :

La grande majorité des services chargés de la gestion des déchets des différents pays définissent les ordures ménagères comme un ensemble de résidus hétérogènes dans lesquelles on trouve [3] :

- Les détritiques de toute nature générés par les ménages (déchets de nourriture, de préparation de repas, balayures, textile, journaux etc.).
- Les déchets de bureaux, commerces, industries et administrations, déchets des cours et jardins dans la mesure où ces déchets peuvent prendre place dans une limite à fixer, dans les récipients individuels ou collectifs aux fins d'enlèvement par les services municipaux;
- Les crottins, fumier, feuilles mortes, bois résidu du nettoyage et du balayage de la voirie, jardins, cimetières, parcs, etc., rassemblés aux fins d'évacuation.
- Les détritiques de foires, Souks et marchés, etc. ...

- Les résidus des collectivités (cantines, écoles, casernes, hospices, prisons ... etc.), ainsi que les résidus des hôpitaux ayant un caractère ménager que l'on rassemble dans des récipients appropriés.
- Tout objet abandonné sur la voie publique, ainsi que les cadavres des petits animaux.

Cette énumération exclue formellement :

- Les déblais, gravats, décombres et débris des chantiers de travaux publics et constructions.
- Les déchets industriels et commerciaux.
- Les déchets anatomiques et infectieux des hôpitaux et abattoirs ainsi que les pansements, les médicaments, seringues et autres objets pouvant véhiculer des pollutions bactériologiques ou médicamenteuses.
- Tous les objets qui, en raison de leur encombrement, poids ou nature, ne pourraient être chargés dans les véhicules de collectes.

Remarque : Cette définition des déchets ménagers insiste sur le fait que les résidus doivent être rassemblés, que leur encombrement ne doit pas excéder une certaine limite, et qu'ils doivent être stockables dans des récipients appropriés au système de collecte en vigueur.

I-4-2 Déchets assimilables aux déchets ménagers :

En raison de la nature et de l'encombrement d'un certain nombre de déchets, ceux-ci peuvent être assimilés à des déchets ménagers et traités comme tel.

A ce titre, nous citerons :

-Certains déchets industriels non toxiques, à condition qu'ils puissent être stockés dans des récipients appropriés à la collecte des ordures ménagères (cas des industries à caractère artisanale, petite industrie du bois, panneaux, papier carton, artisanat textile, petite industrie agroalimentaire, etc.).

-Les déchets des marchés à caractère essentiellement alimentaire (fruits et légumes, boucheries, poissonneries) sans pour autant exclure d'autre résidus tel que : les emballages.

I-4-3 Production et évolution des déchets ménagers :

I-4-3-1 Quantités générées et leur variabilité :

Les quantités déchets ménagers générées dans une ville dépendent essentiellement de [3] :

- 1) L'habitat (milieu rural ou urbain avec un taux généralement plus faible en milieu rural)
- 2) Le niveau de vie, les habitudes et les moeurs de la population (la production tend à s'accroître avec le niveau de vie ; ex. Zones résidentielles par rapport aux autres zones.).
- 3) Les conditions climatiques, ainsi que les variations annuelles et saisonnières.
- 4) Les mouvements plus ou moins importants de la population au cours de l'année : foires, pèlerinage, vacances annuelles, etc.
- 5) Des modes de conditionnement des denrées et des marchandises.

I-4-3-2 Mesure de la production des déchets ménagers :

Les quantités de déchets ménagers produites peuvent s'exprimer en poids ou en volume. Cependant, en raison de la compressibilité des déchets ménagers, seul le poids constitue une donnée fiable et mesurable sur un pont-basculé.

On mesure alors les quantités de déchets ménagers en kg/habitant/jour ou par année. Par contre pour définir la taille des récipients, l'estimation des volumes est nécessaire. Remarque : En pratique et en particulier dans les pays en voie de développement, on devra toujours faire la distinction entre les quantités de déchets ménagers générées et les quantités de ces ordures collectées, ces dernières étant souvent inférieures aux premières [3].

I-4-3-3 Quelques exemples de production (kg/hab. / j ou par an) :

Nous présentons en tableau I.1 la production des déchets dans quelques villes et pays en voie de développement.

Tableau I.1 : Quelques exemples de production de déchets par pays et par habitant [4].

Ville	Pays	Références	Production de déchets (Kg/hab/j)
Alger	Algérie	Kéhila <i>et al.</i> , 2005	0,75 - 1
Ouagadougou	Burkina Faso	Tezanou <i>et al.</i> , 2001	0,62
Bobo Dioulasso	Burkina Faso	Dessau Soprin inc., 1999	0,55
Uberlândia	Brésil	Fehr <i>et al.</i> , 2000	0,51
Youndé	Cameroun	Ngnikam, 2000	0,85
Baffoussam	Cameroun	Ngnikam, 2000	0,37
Hong - Kong	Chine	Chung et Pool, 1998	0,7
Guangzhou	Chine	Chung et Pool, 1998	0,4
(Moyenne nationale)	Inde	Bernache Perez, 2001	0,41
Kuala Lumpur	Malaisie	Kathirvale <i>et al.</i> , 2003	1,7
(Moyenne nationale)	Malaisie	Kathirvale <i>et al.</i> , 2003	0,5 - 0,8
Rabat	Maroc	Guibbert, 1998	0,60
Grand Casablanca	Maroc	ONEM 2001	0,89
(Moyenne nationale)	Maroc	ONEM 2001	0,75
Nouakchott	Mauritanie	Alouémine, 2006	0,21
Mexicali	Mexique	Ojeda-Benitz <i>et al.</i> , 2003	0,59
Guadalajara	Mexique	Bernache G., 2003	0,51
(Urbain)	Philippines	UNEP, 2001	0,50
(Rural)	Philippines	UNEP, 2001	0,30
(Moyenne nationale)	Vietnam	UNEP, 2001	0,61

Les différences de production spécifique journalière entre les villes et les régions des pays du monde, et même à l'intérieur des pays sont dues aux modes de vie des populations locales, aux niveaux de vie mais aussi, en partie, aux procédures d'évaluation des tonnages qui peuvent varier d'un centre de recherche à un autre.

Le tableau I.2 donne un aperçu sur l'évolution temporelle de production des déchets en Algérie et les moyens affectés. On relève la diminution des moyens en passant de 1980 à 2000/

Tableau I.2 : Evolution du volume de déchets et des moyens affectés à la gestion des déchets à Alger (Algérie) [7].

Année	Taille des villes	Production (Kg/ hab/j)	Moyens affectés (personnels)	Moyens affectés (matériels)
1980	Villes moyennes	0,5	1 agent pour 500 habitants	-
	Grandes villes	-		
2000	Villes moyennes	1,0	1 agent pour 1500 habitants	1 véhicule pour 7500 habitants
	Grandes villes	1,2		

I-4-4 Les acteurs de la gestion de déchets en Algérie

Ce sont des opérateurs publics, privés ou ONG. Dans toutes les villes en Algérie, au moins un opérateur public participe à la fourniture du service Ordures Ménagères (OM). Il s'agit le plus souvent du service technique municipal.

On trouve dans toutes les villes des opérateurs privés formels et informels, qui interviennent pratiquement à toutes les étapes de la gestion selon leur capacité technique et leur niveau d'équipement. Les entreprises qui interviennent, doivent supporter des conditions difficiles qui leur sont faites, notamment des retards de règlement.

I-4-4-1 Le secteur public en Algérie

Le gouvernement Algérien a décidé d'intervenir dans la gestion des déchets par la mise en place du Programme National pour la Gestion intégrée des Déchets Ménagers (PROGDEM). Ce programme est engagé par le gouvernement dans le cadre du plan triennal de soutien de relance économique à travers les 48 wilayas du pays (MATE, 2003). Certaines activités liées aux déchets telles que le développement et la promotion de la réduction à la source, de la collecte sélective et du recyclage sont menées à un niveau national par l'Agence Nationale des Déchets (AND). L'AND a été créée par décret exécutif N°02 – 175 du 20 mai 2002.

I-4-4-2 Le secteur privé / Les ONG en Algérie

Plusieurs opérateurs privés se sont engagés dans la collecte des déchets ménagers mais, ils ont cédé la place très vite aux grands opérateurs tel que Net-Com, société publique de nettoyage de la ville d'Alger qui s'occupe presque toute la wilaya. Cette entreprise s'occupe aussi de l'exploitation du centre d'Ouled Fayet.

I-4-5 Caractères physico-chimiques des déchets ménagers

I-4-5-1 La composition

Il est important de connaître la composition des déchets ménagers pour permettre, entre autre, un meilleur choix de matériel de collecte et une évaluation des gisements en matériaux récupérables, dans l'hypothèse d'une collecte sélective [3].

D'une ville (ou même d'un quartier) à l'autre, la composition des déchets ménagers peut être sensiblement différente.

I-4-5-2 Densité (ou masse volumique)

La densité met en évidence la relation qui existe entre la masse des déchets ménagers et le volume qu'elles occupent. Sa connaissance est essentielle pour le choix comme les ordures ménagères sont essentiellement compressibles, leur densité varie au cours des différentes manipulations auxquelles elles sont soumises. Le Tableau I.3 donne quelques exemples de densités des déchets ménagers.

Tableau I.3: Quelques exemples de densités des déchets ménagers [8].

VILLES	DENSITÉ EN POUBELLE	DENSITÉ EN BENNE TASSEUSE	DENSITÉ APRÈS FOISONNEMENT EN DECHARGE
PARIS	0,1	/	/
GENÈVE	< 0,1	/	/
VILLES ALGÉRIENNES	0,22 - 0,30	0,45 - 0,55	0,28 - 0,32

I-4-5-3 Humidité et pouvoir calorifique

I-4-5-3-a) L'humidité (H %)

Les déchets ménagers renferment une quantité d'eau, qui est celle contenue dans leur composants, la teneur globale en eau est essentiellement fonction des proportions respectives des composants, ainsi que des saisons, l'altitude et de l'origine géographique et sociale des populations qui en sont la source.

Pour des ordures fraîches et stockées à l'abri des intempéries, l'humidité varie entre [3] :

- (35 - 40) % : Europe, avec un max. en été et un min. en hiver
- (60 – 62) % : pour une grande ville Algérienne
- (65 - 70) % et plus : Pour les pays tropicaux

Pour les ordures non protégées, donc exposées aux intempéries, l'humidité des déchets ménagers peut atteindre des valeurs extrêmes, c'est à dire déshydratation complète ou sursaturation.

I-4-5-3-b) Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique des ordures ménagères considérées comme combustibles, s'exprime soit par leur pouvoir calorifique supérieur (P.C.S.) qui prend en compte la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans les ordures, soit par leur pouvoir calorifique inférieur (P.C.I.) qui n'inclue pas cette dernière.

Les déchets ménagers n'ont jamais été un bon combustible, mais lorsqu'elles contiennent plus de 50% d'humidité, elles sont réellement impropres à l'incinération et c'est là le cas des déchets ménagers en algérie.

Donc la connaissance des deux paramètres (P.C.I. et H%) sont étroitement liés et leur connaissance est essentielle pour le choix du mode de traitement (incinération ou compostage...) [3].

Exemples :	
P.C.I. < 1.500 K cal.	Incineration non recommandable
H ≥ 50%	incineration non recommandable
45% < H < 70%	bon compostage (cas des ordures algériennes)

I-4-5-4 Rapport carbone/azote (C/N)

Ce paramètre mesure la qualité des ordures ménagères pour leur valorisation en tant qu'amendements organiques, c'est à dire qu'il permet d'apprécier aussi bien l'aptitude des ordures ménagères au compostage que la qualité du composte obtenu.

Un compost est valable à partir du rapport C/N < 35 au départ de la fermentation aérobie et contrôlée et en obtenant un rapport de $18 < C/N < 20$

En fin de fermentations pour le cas de l'Algérie le C/N dépasse rarement 15 [3].

I 4-5-5 Variabilités des différents paramètres

Les déchets urbains, en général et les déchets ménagers en particulier, sont sujets à des variations plus ou moins importantes mais toujours sensibles aussi bien dans les quantités générées que dans la nature et les proportions de leurs composants.

Tous les paramètres physico-chimiques sont fonctions des divers facteurs, à savoir [3]:

- Temps
- Facteur socio-économique
- Situation géographique et conditions climatiques

I-4-5-6 Intérêt des déchets ménagers

Depuis le milieu des années 70 et plus précisément le début des augmentations des prix pétroliers en 1974, on assiste à un changement important dans la façon de considérer les déchets urbains en général et les déchets ménagers en particulier.

Cela se traduit par le fait qu'il ne faut plus les regarder comme des matériaux à éliminer par tous les moyens, mais plutôt comme de la matière première.

Ceci dit, il existe plusieurs modes de récupération des déchets ménagers dont les plus connues sont :

- L'incinération : avec récupération d'énergie
- Le compostage : avec utilisation du compost comme engrais
- Le recyclage
- Le lombricompostage: qui consiste simplement à faire manger et rejeter sous forme digérée la partie organique des déchets ménagers par des vers de « fumier » qu'on appelle aussi lombrics rouges.

- La méthanisation : processus spontané de fermentation anaérobie des déchets ménagers avec production de biogaz méthane.

I-5 Transport et traitement des déchets collectes

Les déchets collectés devant être transportés vers un centre de traitement, celui-ci peut être une décharge contrôlée ou un centre d'enfouissement technique classe II (C.E.T.).

Avant de s'engager dans la présentation de ces sites de traitement, il serait intéressant de s'arrêter un moment sur le transport des déchets de leurs points de collecte vers ces sites. Il est possible que chaque véhicule de collecte transporte directement les déchets qu'il a ramassés vers le site de traitement, comme il est parfois nécessaire de passer par une station (ou centre) de transfert, qui est une étape intermédiaire entre les points de collecte et les sites de traitement [3].

I-6 Le centre d'enfouissement technique et la décharge contrôlée

Le traitement des déchets ménagers algériens se fait en décharge contrôlée ou en centre d'enfouissement technique. Aucune station d'incinération des déchets ménagers n'existe pour l'instant en Algérie.

L'option pour la mise en décharge ou l'enfouissement est motivé par :

- La qualité des déchets ménagers algériens qui défavorise l'incinération (grande humidité, faible rapport carbone/azote ; faible PCI...etc.)
- Les coûts élevés d'un centre d'incinération par rapport à un centre d'enfouissement (37-51 €/T pour l'incinération, voir jusqu'à 100 €/T s'il y a récupération énergétique alors que ce coût est de 45 €/T pour un centre d'enfouissement) [3].

I-6-1 Le centre d'enfouissement technique (CET)

Un CET est une installation (classée) qui réceptionne les déchets ménagers pour les enfouir dans des fosses appelées « Casiers d'enfouissement ».

Le CET est composé de :

- Une zone de service où le contrôle, l'admission et la pesée des déchets se font. Cette zone abrite également les bureaux, vestiaires et autres locaux.
- La zone d'enfouissement qui comporte les casiers d'enfouissement et la station de traitement des lixiviats (liquides émanant des déchets)

Un réseau de voiries (bitumé) relie l'ensemble des éléments composant le CET. Il est également possible d'installer un centre de tri au niveau d'un CET (dans la zone de service), ce qui permettrait :

- La réduction des volumes de déchets à enfouir
- La valorisation des fractions récupérables à partir des déchets
- L'amélioration de la qualité des lixiviats qui devront être traités (en l'absence de piles, batteries et métaux récupérés, les lixiviats seront moins chargés en polluants dangereux et donc plus faciles à traiter)

En règle générale, le centre d'enfouissement technique (CET) est réalisé pour une population de 100 000 habitants et plus. Il reste cependant possible de réaliser un CET dans une zone de moins de 100 000 habitants mais qui, compte tenu d'activités économiques particulières, produits des quantités anormalement importantes de déchets ménagers et assimilés.

Un centre d'enfouissement technique devrait pouvoir rester en exploitation au moins 20 ans. Il est donc impératif de disposer de la surface de terrain nécessaire et de planifier l'exploitation du site sur la durée de vie minimale sus citée.

La conception d'un CET ou d'une décharge contrôlée devra pouvoir fournir (dès le départ) les paramètres suivants :

- Programme (planning) d'exploitation du CET (procédure d'admission des déchets, mode d'exploitation des casiers et éventuellement du centre de tri, mode de fermeture de chaque casier, mode d'exploitation et contrôle de la station de traitement des lixiviats, captage et évacuation des biogaz, calendrier d'exploitation)
- Equipements nécessaires au fonctionnement de chaque élément du projet
- Durée de vie du CET (durée de vie unitaire pour chaque casier prévu, et cumulée pour l'ensemble du site)
- Programme de fermeture du CET et son intégration dans son environnement
- Programme de contrôle du CET après sa fermeture (contrôle des étanchéités et du fonctionnement des systèmes de drainage, contrôle des biogaz, contrôles de la stabilité des ouvrages...etc.)

I-6-2 La décharge contrôlée

C'est une installation (classée) qui réceptionne les déchets ménagers pour les enfouir dans des fosses appelées « Casiers d'enfouissement » mais sur des surfaces plus réduites que le CET avec moins de contraintes techniques d'étanchéification.

La décharge contrôlée est composé de :

- Une zone de service où le contrôle, l'admission et la pesée des déchets se font. Cette zone abrite également au moins un bureau et des vestiaires qui peuvent être placés dans le même bâtiment.
- La zone d'enfouissement qui comporte les casiers d'enfouissement et la station de traitement des lixiviats.

Un réseau de voiries (praticable) relie l'ensemble des éléments composant la décharge.

La décharge contrôlée comprend également une plateforme de dépotage (qui peut être couverte ou à ciel ouvert) sur laquelle les déchets seront déchargés, triés puis évacués vers le casier.

L'avantage du tri sur cette plateforme est le même que pour le CET. En règle générale, une décharge contrôlée sera réalisée pour une population de 50 000 à 100 000 habitants.

Une décharge contrôlée devrait pouvoir rester en exploitation au moins 15 ans. Il est donc impératif de disposer de la surface de terrain nécessaire et de planifier l'exploitation du site sur la durée de vie minimale sus citée.

La conception d'une décharge contrôlée devra pouvoir fournir (dès le départ) les paramètres suivants :

- Programme (planning) d'exploitation de la décharge contrôlée (procédure d'admission des déchets, mode d'exploitation des casiers et éventuellement de la plateforme de dépotage, mode de fermeture de chaque casier, mode d'exploitation et contrôle de la station de traitement des lixiviats, captage et évacuation des biogaz, calendrier d'exploitation)
- Equipements nécessaires au fonctionnement de chaque élément du projet
- Durée de vie de la décharge contrôlée (durée de vie unitaire pour chaque casier prévu, et cumulée pour l'ensemble du site)
- Programme de fermeture de la décharge contrôlée et son intégration dans son environnement
- Programme de contrôle de la décharge contrôlée après sa fermeture (contrôle des étanchéités et du fonctionnement des systèmes de drainage, contrôle des biogaz, contrôles de la stabilité des ouvrages...etc.)

Le Ministère de l'aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme (MATET) a élaboré et diffusé un guide pour le choix de site et la conception des CET et décharges contrôlées.

Par ailleurs le Décret exécutif n° 04-410 du 14 décembre 2004 fixe les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations.

I-7 Différents modes de traitement des déchets ménagers

I-7-1 Traitement thermique ou Incinération :

Ce traitement consiste à détruire les déchets par le feu ou plus exactement par une combustion aussi complète que possible des déchets. Vis-à-vis de l'incinération, la grandeur caractéristique la plus fréquemment utilisée est le PCI, ce procédé est utilisé pour des déchets ayant un PCI élevé ($PCI > 7200 \text{ KJ/Kg}$) et une teneur en eau relativement faible ($Hu < 50\%$). L'incinération est souvent couplée à une récupération d'énergie. En effet, l'incinération d'une tonne d'ordures ménagères produit entre 1,5 à 2 tonnes de vapeur, soit un équivalent d'énergie de 300 à 350 Kwh [9].

I-7-2 Traitement biologique aérobie : le compostage

I-7-2-a) Historique

Le principe du compostage est très ancien mais le terme n'apparaît dans un texte réglementaire qu'au début du XX^{ème} siècle (1905). Cette technique s'est développée en France dans les années 50-60 comme un procédé de traitement global des ordures ménagères entre autres. Cependant, ce n'est qu'avec la crise énergétique de 1973 et les réflexions qui s'en suivirent que le compostage s'est imposé comme filière à part entière de traitement et de valorisation des déchets. Le compostage des O.M. a ensuite régressé avec la complexité croissante des O.M. et face à la concurrence de techniques moins coûteuses (mise en décharge) ou plus radicales (incinération) [10].

I-7-2-b) Définitions

Le compostage est défini comme étant la « décomposition biologique thermophile, en présence d'oxygène et dans des conditions contrôlées, de biodéchets collectés séparément, sous l'action de micro- et de macro-organismes, afin de produire du compost » (C.E. document de travail, 2001). Le compostage consiste en un processus de biodégradation aérobie de la matière organique sous l'action d'une très grande diversité de micro-organismes qui préexistent dans les substrats concernés. Le compost, produit final du compostage, est de la « matière humique stable, assainie, riche en matière organique et non nauséabonde, qui résulte du compostage des biodéchets... » (C.E. document de travail, 2001). Il est composé pour l'essentiel d'une fraction organique stabilisée et de composés minéraux. L'action de composter est donc de produire de la matière organique de type humique stable [10].

I-7-2-c) Objectifs

Le compostage est un traitement biologique des déchets organiques permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants : 1- Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique, dues principalement à la présence de matières organiques biodégradables. On parle de stabilisation biologique ou biostabilisation de la matière organique. 2- Réduction du gisement par diminution de la masse de déchet. 3- Production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols agricoles [10].

I-7-3 Traitement biologique anaérobie : la méthanisation

I-7-3-a) Historique

La méthanisation, filière de valorisation des déchets organiques, a pris une importance industrielle conséquente. Plus encore que le compostage, elle est apparue comme une alternative compétitive aux problèmes de dépense énergétique posés après la crise pétrolière de 1973 [10].

I-7-3b) Objectifs

La méthanisation est un processus de digestion anaérobie pouvant répondre à un double objectif de valorisation énergétique par récupération de méthane (CH₄) et de stabilisation des déchets organiques. Le biogaz est utilisé comme combustible et le digestat, produit solide final de la digestion anaérobie, est utilisable comme amendement organique sur les terres agricoles (éventuellement après une opération de maturation aérobie complémentaire) [10].

I-7-4 Le traitement mixte

Ce traitement combine le procédé de compostage et celui d'incinération. L'installation de traitement est composée d'une unité de compostage pouvant assurer l'élimination de 40 à 60 % des déchets et d'une unité d'incinération pouvant traiter jusqu'à 90 % des ordures. Le fonctionnement de ces deux unités est modulé en fonction de la demande du composte, outre l'incinération des ordures non compostées, le four assure l'élimination des refus de compostage [10]. Tous ces modes de traitement présentent des avantages et des inconvénients. Le tableau **I.4** situe les avantages et inconvénients des différents types de traitements des déchets urbains.

Tableau I.4 : Avantages et inconvénients des différents types de traitements [11]

	Décharge contrôlée	Incinération, compostage ou traitement mixte
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomie des procédés de traitement des déchets • Grande souplesse d'adaptation aux quantités à traiter • Valorisation des terrains 	<p>Importante réduction du volume des déchets</p> <p>Possibilité de valorisation des déchets sous forme de matière ou d'énergie</p>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Choix d'un site convenable • Nécessité d'une exploitation rigoureuse • Solution temporaire (capacité du site) 	<p>Coûts élevés à l'investissement</p> <p>Nécessité d'éliminer les refus de traitement en décharge contrôlée</p> <p>Absence de souplesse d'adaptation aux quantités à traiter</p>

I-8 Données nationales

- L'Algérie génère chaque année 10 à 12 millions de tonnes de déchets ménagers.
- L'Algérie compte 3000 décharges sauvages. Ces décharges occupent une surface totale de l'ordre de 150 000 hectares.
- Ces décharges coûtent annuellement à l'Algérie 0,19 % du PIB en impacts sur la santé et 0,13 % du PIB en pertes économiques (potentiel de recyclage et de valorisation non réalisés).
- Le nombre d'agents chargés de la collecte des déchets ménagers et du nettoyage des voies publiques en Algérie, était de un (01) agent pour 500 habitants en 1980. En 2005, il est passé à un (01) agent pour 1500 habitants en 2005, soit trois fois moins d'agents qu'il n'en faut.
- Le parc véhicules de collecte des déchets ménagers et assimilés en Algérie est estimé à un (01) véhicule pour environ 7500 habitants alors que les normes internationales sont de un (01) véhicule pour 4000 habitants. Le déficit national en véhicules de collecte serait donc de 87,5%.

- Chaque année 200 000 tonnes de déchets d'emballages sont rejetés en Algérie. Les plastiques constituent 95% de ces emballages et les métaux représentent les 5% restants.
- Des 200 000 tonnes de déchets d'emballages rejetés annuellement, seulement 4000 tonnes sont récupérées soit 2% du gisement.
- Chaque année, 22000 tonnes de déchets d'activités de soins sont produites en Algérie.
- Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a programmé la réalisation de 1000 schémas directeurs de gestion des déchets solides urbains pour les différentes communes du pays. Déjà 640 schémas sont finalisés.
- Il existe en Algérie 317 incinérateurs opérationnels pour la destruction des déchets d'activités de soins.
- En 2008, il existe 873 récupérateurs agréés et répartis sur le territoire national. Ce chiffre est en augmentation continue.
- En 2008, il existe 320 exportateurs de déchets ferreux et non ferreux répartis sur le territoire national. (Association des exportateurs de métaux ferreux).

Chaque année, les algériens utilisent près de 300 millions de piles et accumulateurs, soit environ 12 unités par habitant. On estime que 70% de ces piles finissent dans la nature ou à la décharge avec tous les risques de contamination de l'environnement par le mercure, le cadmium, le plomb, le zinc ou le lithium [3].

II. Présentation et exploitation de centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet

II-1 Présentation du CET d'Ouled Fayet

Le Centre d'Enfouissement Technique (CET) d'Ouled Fayet est situé à 15 Km d'Alger, et à 3 Km de la localité d'Ouled Fayet entre la nationale 26 et la route N° 142. Le site a une superficie de 40 hectares dont 19 exploitables.

La région bénéficie d'un climat local de type méditerranéen semi – humide. Les précipitations moyennes annuelles se situent entre 700 mm et 800 mm, les plus fortes s'étendent du mois d'octobre au mois de février et presque inexistante en juin, juillet et août.

Les températures se situent entre les valeurs extrêmes de -2 à 45 °C, pouvant atteindre 60 °C au soleil. Les vents dominants sont de direction sud – ouest en automne et en hiver, et peuvent atteindre plus de 40 Km/h. Au printemps et en été, ils ont la même direction mais quelque fois orientée nord – est [4].

II-1-1 Contexte

La mise en exploitation du CET d'Ouled Fayet a été précédée par des travaux d'aménagement général. Ces travaux sont la conclusion des propositions visant à accélérer l'aménagement de la décharge qui était depuis son ouverture en 1988, un site de déversement sauvage des déchets solides provenant des communes limitrophes. Cette décharge a été réhabilitée en 1999 par la Wilaya d'Alger et ouverte comme centre d'enfouissement technique en 2001. Les travaux de réhabilitation ont porté notamment sur [4] :

- ✓ l'imperméabilisation du fond des casiers de la décharge.
- ✓ la mise en place de points de contrôle des eaux superficielles.
- ✓ la mise en place d'une buse de Ø 1800, pour l'évacuation des eaux de pluie du bassin versant amont. Cette buse est posée dans l'axe longitudinal de l'oued intermittent, traversant le site de la décharge au nord des casiers 1,2 et 3.
- ✓ la mise en place de drainage composé de graviers concassés, $D=8/40$, (dimensions : $0,6*0,8*0,8$). Les eaux sont collectées dans une buse de ($D=400$) ensuite acheminées vers le bassin de décantation.

La géomembrane adoptée par le maître d'ouvrage est en PEHD d'une épaisseur de 1,5 mm. Ce type de géomembrane est conditionné sous forme de rouleau de 130 m de longueur et une surface de 975 m². Ses caractéristiques sont :

- Résistance à la rupture : 30 N/mm^2
- Résistance à la déchirure : 215 N
- Comportement dans l'eau, perte : $< 0,1\%$

A noter que le réseau de drainage des trois premiers casiers et le casier N° 5 est constitué de tuyau en PVC. Les casiers N° 1,2 et 3 sont déjà fermés depuis juin 2007, le casier N° 5 est en cours d'exploitation. Le casier N°4 reste vide pour des raisons techniques.

La figure II.1 présente une vue aérienne du CET d'Ouled Fayet avec la délimitation des casiers. La figure II.2 illustre schématiquement le CET d'Ouled Fayet.

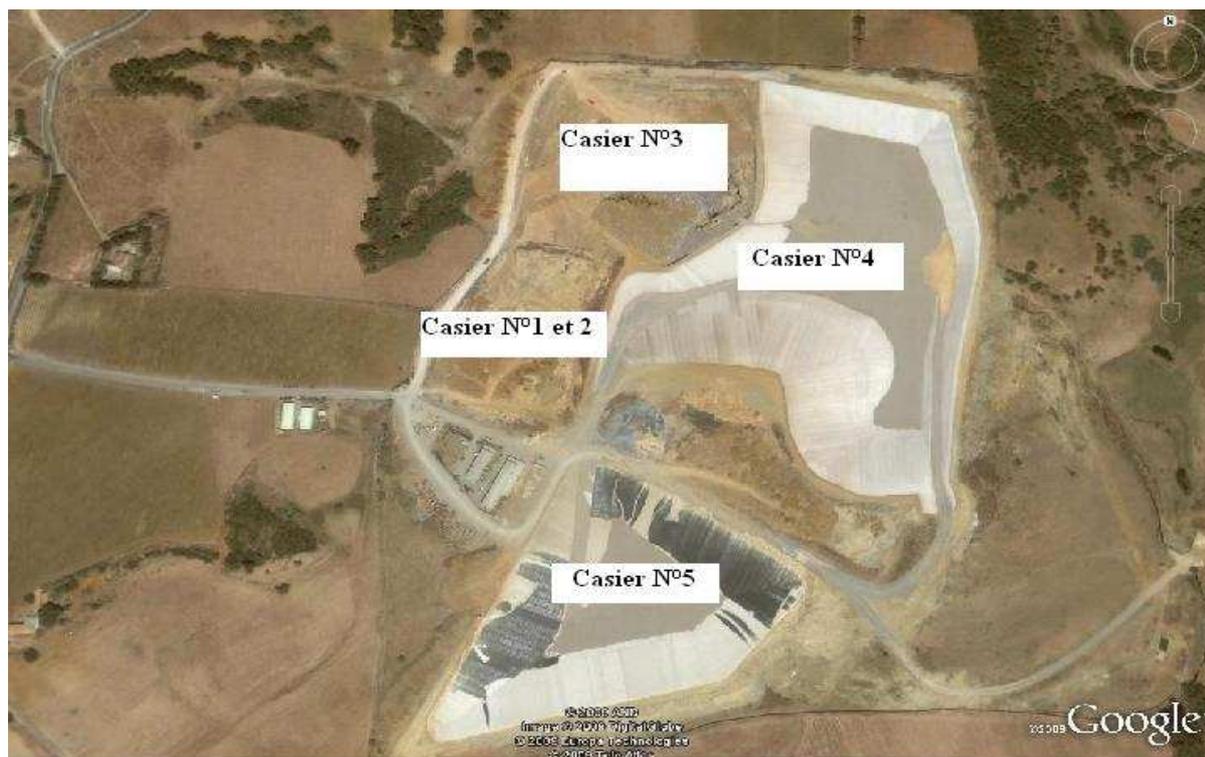


Figure II.1 : Vue aérienne de la décharge de Ouled Fayet

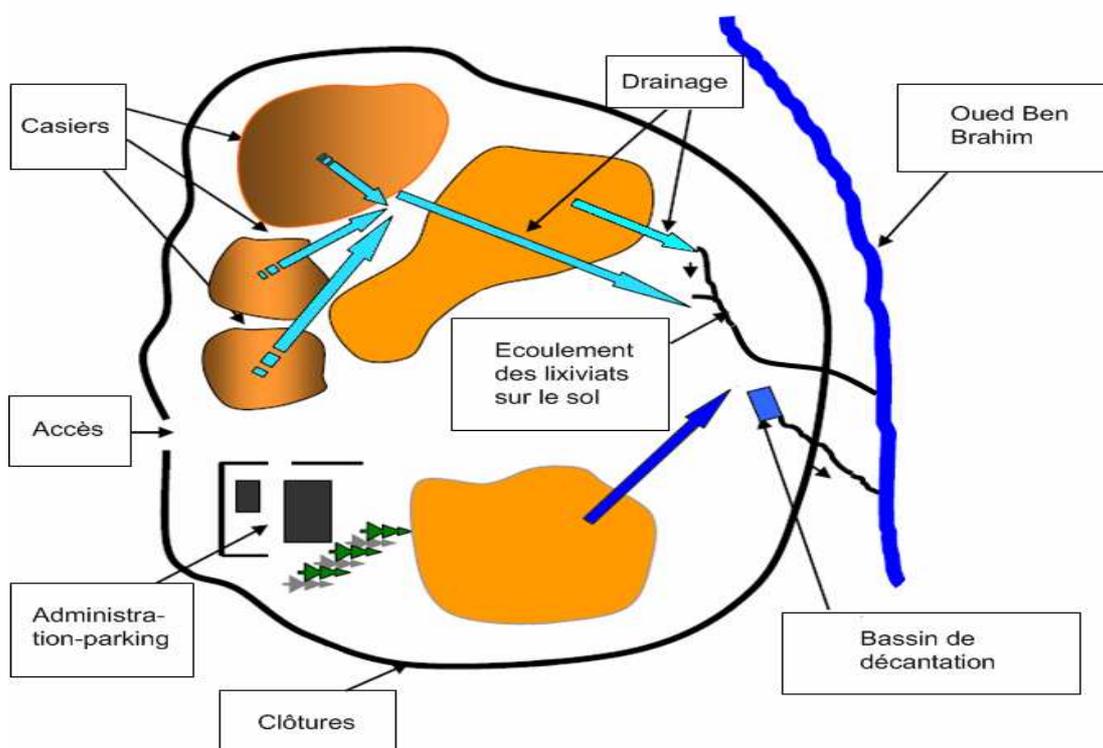


Figure II.2 : Schéma Représentatif de Centre d'enfouissement Technique d'Ouled Fayet

II-1-2 Origine et flux des déchets entrants

Le CET d'Ouled Fayet reçoit actuellement des déchets en provenance de plus de 34 communes de la willaya d'Alger et alentours. D'après les informations et statistiques de Net Com, 38 % des communes payent pour l'enfouissement de leur déchet, 61 % sont abonnés à Net Com qui s'occupe directement de la collecte et environ 1 % (les communes d'Ouled Fayet, de El Harrach et de Casbah.) ont un accès gratuit sur le site pour stocker ces déchets.

Environ 44 000 m³ de déchets sont enfouis par mois. Le nombre de voyage de camions transportant les déchets sur le site est d'environ 4550 par mois.

Tous les autres déchets (industriels, chimiques, déchets d'abattoirs etc.) sont interdits d'accès. L'accès au CET d'Ouled Fayet est conditionné par la présentation de bons spécifiques, daté et signés par l'organisme détenteur des droits d'accès. Ces bons sont acquis au niveau du service vente de la direction de l'EPIC Net Com. Les déchets acheminés sont déversés directement dans le casier d'enfouissement, où les agents vérifient leur nature [4]. Nous présentons des déchets admis au CET d'Ouled Fayet.

Tableau II.1 : Composition par catégorie des déchets entrants du CET d'Ouled Fayet (%) [4]

Fraction Granulométrique	Catégorie	Printemps 2006		Été 2006
		1 ^{ère} campagne (%)	2 ^{ème} campagne (%)	3 ^{ème} campagne (%)
Gros (d > 100 mm)	<i>Putrescibles</i>	8,6	11,1	6,7
	<i>Papiers - cartons</i>	23,6	28,5	27,7
	<i>Textiles</i>	24,3	23,6	26,2
	<i>Plastiques</i>	32,9	29,2	31,1
	(%) <i>CNC</i>	2,9	1,4	1,5
	<i>Verres</i>	2,9	1,4	1,0
	<i>Métaux</i>	3,6	2,1	3,1
	<i>INC</i>	1,4	2,8	2,7
	<i>Déchets spéciaux</i>	0,0	0,0	0,0
Moyens (30 < d < 100 mm)	<i>Putrescibles</i>	75,9	78,1	86,4
	<i>Papiers - cartons</i>	6,0	6,7	2,8
	<i>Textiles</i>	5,7	5,0	2,9
	<i>Plastiques</i>	6,3	7,0	3,5
	(%) <i>CNC</i>	0,7	1,7	1,8
	<i>Verres</i>	3,0	0,3	0,8
	<i>Métaux</i>	2,0	0,7	1,1
	<i>INC</i>	0,3	0,3	0,0
	<i>Déchets spéciaux</i>	0,13	0,1	0,8

Les déchets enfouis sur le site d'Ouled Fayet sont essentiellement des putrescibles. Le tableau II.2 ci-dessous permet de résumer la situation, prenant en compte les proportions de gros, moyens et fines pour chaque campagne. Sachant que le tri par catégorie suivant les tailles apporte plus d'information sur la répartition des déchets.

Tableau II.2 : Composition globale des déchets enfouis [4]

Catégories	1 ^{ère} Campagne (%)	2 ^{ème} Campagne (%)	3 ^{ème} Campagne (%)
<i>Putrescibles</i>	47,3	47,2	57,5
<i>Papiers - cartons</i>	10,0	11,6	7,2
<i>Textiles</i>	10,0	9,3	7,0
<i>Plastiques</i>	12,8	11,9	8,3
<i>CNC</i>	1,2	1,3	1,5
<i>Verres</i>	2,6	0,6	0,7
<i>Métaux</i>	2,2	0,9	1,3
<i>INC</i>	0,6	0,9	0,5
<i>Déchets spéciaux</i>	0,1	0,1	0,5
<i>Fines</i>	13,2	16,1	15,6

Ce tableau montre une proportion de putrescibles variant du printemps à l'été de 47 % à 57 %. Cependant il serait plus judicieux d'ajouter la teneur des fines qui sont constituées essentiellement de putrescibles. On obtiendrait alors environ 60 à 73 % de putrescibles dans le gisement du déchet algérien.

II-1-3 Conception et Réalisation du CET d'Ouled Fayet :

II-1-3-1 Les casiers d'enfouissement

Le tableau II.3 donne la profondeur, la capacité et le taux d'exploitation de chaque casier ainsi que la durée d'exploitation de chacun.

Tableau II.3 : Exploitation des casiers d'enfouissement du CET d'Ouled Fayet [12].

Casier	Profondeur (m)	Capacité m ³	Taux d'exploitation	Durée de vie
Casier N°1	12	130.000 soit 65.000 tonnes de déchets compactés	116 %	12 mois Saturation définitive
Casier N°2	10	80.000 soit 40.000 tonnes de déchets compactés	105 %	07 mois et 19 Jours .Saturation définitive
Casier N°3	20	960.000 soit 480.000 tonnes de déchets compactés	123%	23 mois Saturation définitive
Casier N°4	22	1.250.000 soit 625.000 tonnes de déchets compactés	00	Réalisé et non exploité
Casier N°5	16	500.000 soit 250.000 tonnes de déchets compactés	154%	En cours d'exploitation

II-1-3-2 Imperméabilisation des casiers d'enfouissement

Après étude du sol et des caractéristiques géologiques du site retenu pour l'implantation de la décharge, commence alors les travaux de terrassement, une excavation d'une dizaine de mètres de profondeur et d'une superficie de 10.000 m² est creusée (casier). Sur le fond du casier est déposée une couche d'argile ou de marne : matériaux naturels. Intervient ensuite la pose de la géomembrane en polyéthylène haute densité (PEHD), Un matériau étanche, pour éviter toute infiltration dans le substratum, sur le fond et les talus ou parois du casier, la pose de cette géomembrane exige une maîtrise des techniques de soudures. Cette dernière est alors recouverte par une couche de géotextile pour la protéger.

Un caniveau de drainage perforé et entouré du grillage pour recueillir les lixiviats est aménagé dans l'axe du casier dans le sens de sa largeur ou sa longueur. Le drain est lié au bassin de décantation situé à l'Est du site. Enfin une dernière couche de 50 cm de graviers de dimensions différentes, (10% de calcaire) est déposée.

Des cheminées d'évacuation de biogaz provenant de la décomposition des déchets sont installées avant l'épandage de la couche du gravier. Ce système de captage, est réalisé à l'aide des buses verticales à parois perforées empilées au fur et à mesure de la progression de la hauteur des déchets dans le casier. A partir de cette ultime phase, l'épandage des déchets domestiques peut commencer [11]. La figure II.3 illustre l'aménagement et les éléments d'un casier de CET. La figure II.4 de l'exploitation d'un casier [7].

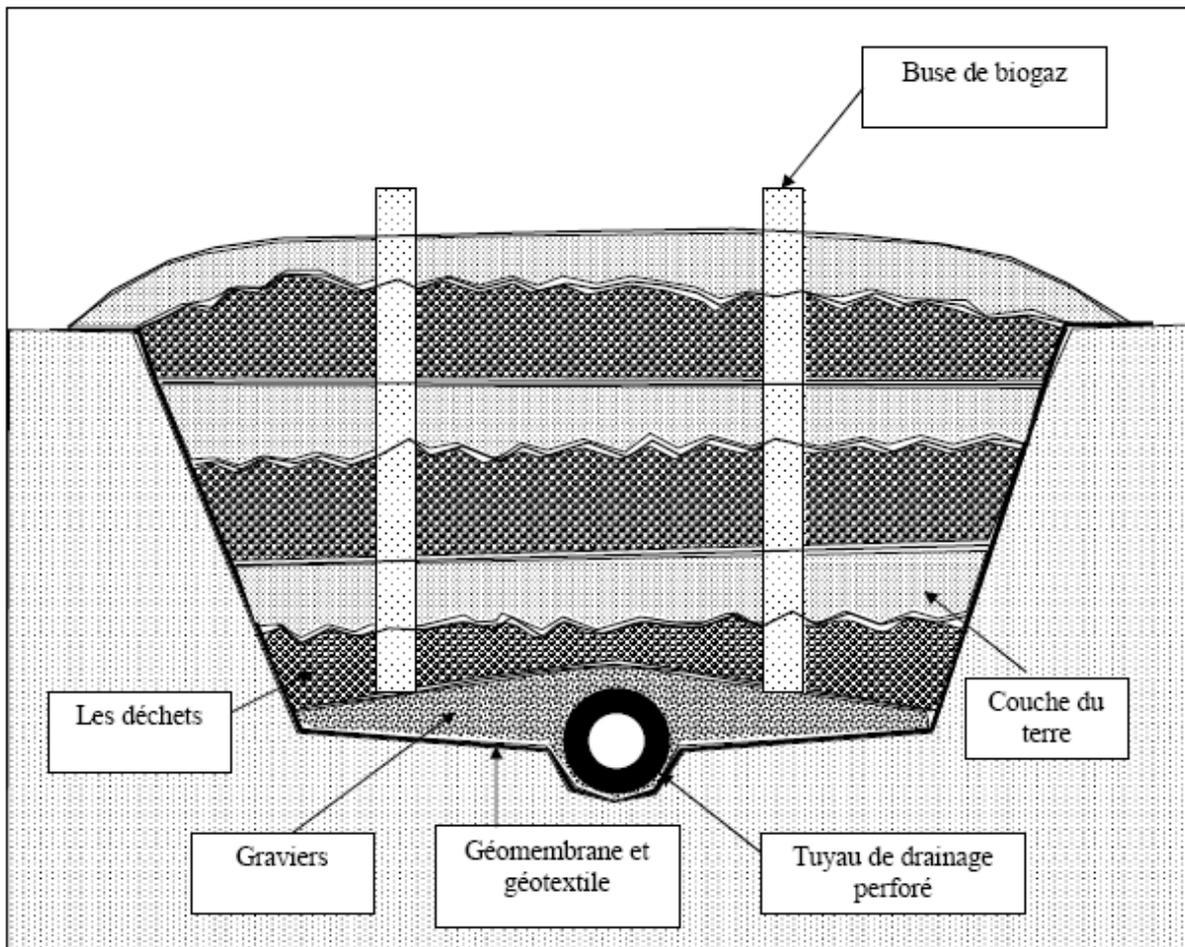


Figure II.3 : Schéma Représentatif d'un casier d'enfouissement technique [3]



Figure II.4 : L'exploitation du casier N° 5

II-1-3-3 Géomembrane

L'utilisation de la géomembrane dans la construction des casiers assure une imperméabilité, évitant ainsi toute contamination possible du sol ainsi que des eaux superficielles et souterraines. En fond de décharge, la géomembrane doit jouer le rôle de barrière étanche et favoriser le drainage des lixiviats. Seules les géomembrane en PEHD seraient chimiquement résistantes aux lixiviats. Mais elles sont moins faciles à manipuler que celles qui sont en PVC (polychlorure de vinyle), en EPDM (éthylène propylène diène monomère) ou en bitume. La géomembrane en PEHD est résistante à la plupart des acides, aux produits pétroliers, aux bases et aux solutions du sel ; elle peut être en contact avec l'eau potable. Elle se dissout seulement dans quelque solution quand la température est plus élevée. Grâce à l'adjuvant de la suie, elle est résistante aux rayons U.V. Les figures II.5 à II.8 présente des photos de l'aménagement d'un CET.



Figure II.5 : mise et soudure de la GMB.



Figure II.6 : Géotextile



Figure II.7 : Déversement de la couche de gravier.



Figure II.8 : Tube de drainage

II-1-3-4 Réseau de drainage des lixiviats

Afin de capter et éviter l'accumulation des eaux de lixiviations vers le bas des casiers, un réseau est installé au fond des cellules. Les conduites sont en PVC perforés de 25 cm de diamètre. Ces tubes sont disposés dans les fossés, ensuite recouverts de pierre concassée et d'un géotextile de filtration afin de minimiser les risques d'obstruction (figure II.9).



Figure II.9 : Conduite de drainage des lixiviats.

II-1-3-5 Elimination des biogaz [13]

Un système vertical de récupération des biogaz a été réalisé, qui consiste en des cheminées en buses et en béton perforé de 1 m de diamètre. A l'intérieur de ces buses est posé un tube en PVC perforé, qui permet de collecter les biogaz produits par la biodégradation des déchets, et permettre leur évacuation du casier d'enfouissement. Le biogaz au niveau des casiers d'Ouled Fayet n'est pas pris en charge (ni récupéré, ni brûlé), il s'échappe dans l'air (figure 10) [13].



Figure II.10 : les buses d'évacuation de Biogaz

II-1-3-6 Bassin de décantation de lixiviats :

Les eaux de percolation du casier N° 5 sont récupérées par un canal de réception dans un bassin ayant un volume de 124 m³. Il y a lieu de signaler, que la nature est considérée comme le réceptacle final pour les lixiviats qui ne subissent aucun traitement au préalable.



Figure II.11 : Le bassin de décantation de lixiviats.

Actuellement, le bassin de décantation est saturé et le drainage se fait directement vers l'oued de Ben Brahem à travers le canal d'évacuation figure II.12



Figure II.12 : Réceptacle finale de lixiviats vers l'Oued Ben Brahem.

II-1-4 Nuisances de CET d'Ouled Fayet sur l'environnement

Bien qu'une décharge soit un projet à durée limitée, ses effets ne le sont pas. Il est indispensable de considérer les deux étapes de l'impact :

- pendant l'exploitation
- après fermeture et parfois réhabilitation.

Il a été constaté que certains effets peuvent s'inverser. A titre d'exemple, une pollution des eaux souterraines peut se produire bien après la fermeture de la décharge si des mesures compensatoires ne sont pas prises pendant l'exploitation. Par contre, l'effet sur l'aménagement local peut être ressenti comme défavorable en cours d'exploitation et devenir un agrément après réhabilitation et/ou fermeture. Le tableau II.4 ci-après résume les principales nuisances pour l'environnement.

Tableau II.4 : Nuisances et impacts

Nature des nuisances	Origines	Impacts
Envols	Papiers et plastiques, feuilles, textiles	Pollution du milieu naturel, atteintes au paysage
Odeurs	Déchets, fermentation, biogaz	Désagréments pour le personnel et les riverains
Poussières	Circulation des véhicules et engins	Désagréments pour le personnel et les riverains
Animaux	Attrait nutritif des déchets	Transport de maladies, gêne pour l'aviation, atteinte à la chaîne alimentaire
Incendies et explosion	Imprudences, déchets incandescents, Accumulation de biogaz	Danger pour le personnel, nuisances olfactives
Bruit	Circulation d'engins	Désagréments pour le personnel et les riverains
Défrichage et déboisement	Implantation d'une installation de stockage	Appauvrissement paysager, gêne visuelle
Pollution des sols et des eaux	Infiltration du lixiviat	Dégradation milieu naturel
Effet de serre	Biogaz non capté	Modification du climat, pathologie des plantes
Risques sanitaires	Toxicité des déchets, organismes pathogènes	Maladies

III. Généralités sur les lixiviats

III-1 Définition

Le lixiviat est défini comme étant l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement de substances minérales et organiques. Ce « jus de décharge » résulte donc de la solubilisation de composés lors de la percolation non uniforme et intermittente de l'eau à travers la masse de déchets. La genèse du lixiviat est donc la conséquence de l'infiltration dans la masse de déchets d'eaux de pluie, d'eaux de ruissellement, d'eaux souterraines (dans le cas où les déchets sont enfouis sous la nappe phréatique), mais elle est aussi due, en plus faible partie, à la présence d'humidité dans les déchets au moment de leur enfouissement. Ce percolat est donc un effluent complexe caractéristique de la décharge dont il est issu. Les principaux paramètres influençant la composition du lixiviat sont la composition des déchets enfouis, leur degré de décomposition, leur taux d'humidité, leur température, le taux d'infiltration de l'eau dans les déchets, les conditions climatiques et l'âge de la décharge. Malgré sa complexité, quatre groupes de polluants caractérisent le lixiviat [14] :

- La matière organique dissoute,
- Les composés organiques anthropiques (hydrocarbures aromatiques, phénols, composés aliphatiques chlorés...) – concentration inférieure à 1 mg/L,
- Les composés minéraux majeurs : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} ...,
- Les métaux lourds (Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb...) – à l'état de traces.

La gamme de valeurs des paramètres physico-chimiques globaux mesurés dans divers lixiviats et à différents stades de dégradation des déchets a été répertoriée par Christensen *et al.* (2001), récemment mis à jour par Öman et Junestedt (2008) (tableau III.1). La mesure de ces paramètres présente de grandes variations [15].

Tableau III.1 : Caractéristiques des lixiviats d'ordures ménagères [15].

	Paramètres	Valeurs limites
Paramètres globaux de pollution	pH	4,5-9
	Conductivité	2500-35000 $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
	COD	30-29000 mg C.L ⁻¹
	DBO ₅ *	20-57000 mg O ₂ .L ⁻¹
	DCO	140-152000 mg O ₂ .L ⁻¹
	Azote organique	14-2500 mg N.L ⁻¹
Principaux ions (mg.L⁻¹)	Phosphore total	0,1-23
	Chlorure	150-4500
	Sulfate	8-7750
	Carbonate	610-7320
	Sodium	70-7700
	Potassium	50-3700
	Ammonium (N)	50-2200
	Calcium	10-7200
	Magnesium	30-15000
	Fer	1-5
	Manganèse	0,03-1400
Silicium	4-70	

* DBO₅ = demande biochimique en oxygène sur 5 jours

Certains paramètres sont communs à tous les lixiviats quel que soit le stade d'évolution des déchets (concentrations hautes en chlorure, sodium, potassium et forte alcalinité). La teneur élevée en sels correspond à la solubilisation de cations et d'anions présents dans les déchets ; l'alcalinité traduit, quant à elle, la dégradation du carbone organique ainsi que la dissolution des matières minérales. D'autres paramètres (matière organique, azote organique, matières en suspension, Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}) dépendent de la phase d'évolution de la décharge et leurs concentrations sont généralement plus élevées dans les premières phases. Ces paramètres traduisent la forte bioactivité de la masse de déchets et son passage aux conditions anaérobies strictes. Au cours du processus de stabilisation de la décharge, on observe [15] :

- i) une augmentation du pH liée à l'évolution du milieu qui devient très réducteur (fin des phases d'acidogénèse et d'acétogénèse).
- ii) une diminution de la charge en matière organique du lixiviat due à la fin de la phase de production d'acides gras volatils. Celle-ci devient plus stable et moins biodégradable, le rapport DBO₅/DCO diminue et on constate une augmentation de la proportion des molécules de forte masse molaire, de type acides humiques et fulviques.

La genèse des lixiviats implique simultanément des processus aérobies et anaérobies, liés au mode d'exploitation de la décharge et à la nature des déchets enfouis. Ces mécanismes sont bien connus, en particulier dans le cas des centres d'enfouissements [16].

III-1-1 Mécanismes biologiques aérobies

Tant que la densité des déchets permet le passage de l'oxygène (faible compactage et absence de couverture, immédiatement après le dépôt des déchets par exemple), une fermentation aérobie se produit. Identique aux premières étapes de compostage, elle conduit à la production de CO_2 , d'eau et de chaleur. La température s'élève jusqu'à 60 C au sein de la masse de déchets [16].

III-1-2 Mécanismes biologiques anaérobies

On distingue pour les décharges d'ordures ménagères cinq phases d'évolution [16] (figure III.1)

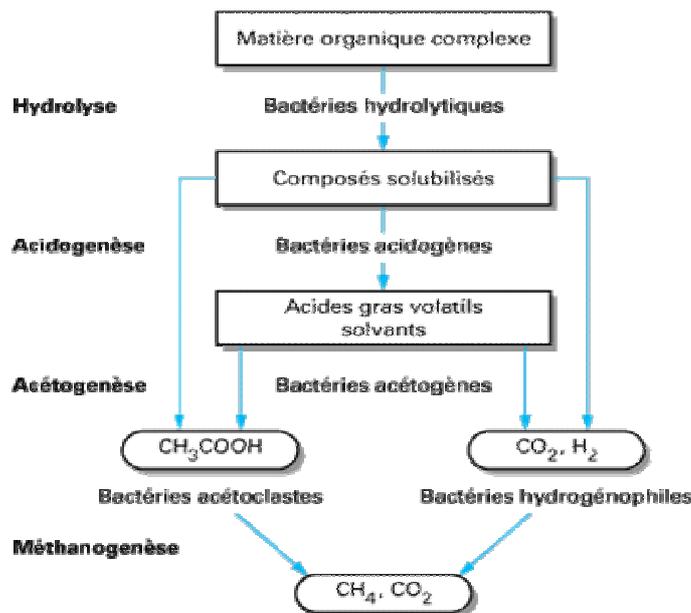


Figure III.1 : Mécanismes de la fermentation anaérobie

a) Hydrolyse

C'est le passage des conditions aérobies aux conditions anaérobies : chute du potentiel d'oxydoréduction, apparition d'acides carboxyliques et augmentation rapide de la charge organique. L'attaque de la matière organique par les enzymes bactériennes conduit à un mélange de sucres simples (osides) et d'acides aminés libres qui pourront servir de nutriments dans la phase suivante.

b) Acidogenèse

C'est la formation des acides gras volatils (AGV) devenant prépondérants dans la structure organique des lixiviats, à partir des produits d'hydrolyse. Il se produit une diminution du pH, une complexation des espèces métalliques, une consommation de l'azote et du phosphore pour la croissance de la biomasse avec production de CO_2 et de H_2 .

c) Acétogenèse

Les acides gras volatils et les alcools sont transformés en acide acétique, CO_2 et H_2 .

d) Méthanogenèse

Les métabolites intermédiaires sont transformés en CH_4 et CO_2 . Le pH remonte sous le contrôle de la capacité tampon des carbonates. Le potentiel redox est à sa valeur minimale, les espèces métalliques sont complexées et précipitent. La charge organique diminue fortement en liaison avec l'augmentation de la production de biogaz.

e) Maturation

C'est la fin des phénomènes de biodégradation, avec stabilisation de la matière organique et chute de la production de biogaz. Il y a métabolisation très lente des produits peu biodégradables avec formation des molécules complexes de type acides humiques.

III-1-3 Mécanismes physico-chimiques

Les principaux mécanismes sont :

- la dissolution : le degré de broyage ou l'état de division des déchets modifie leur surface spécifique ;
- la solubilisation (milieu acide) ou la précipitation (sulfates, carbonates) selon les principaux paramètres du milieu (pH, potentiel d'oxydoréduction Eh, capacité tampon, présence d'agents complexants et d'espèces copécipitables).

Ces deux mécanismes dépendent essentiellement de la vitesse de percolation de l'eau, donc de l'épaisseur des déchets et de la nature de la couverture. Mais également, ils dépendent de l'origine de l'eau percolante (pluie, source ou eau de constitution des déchets) [16].

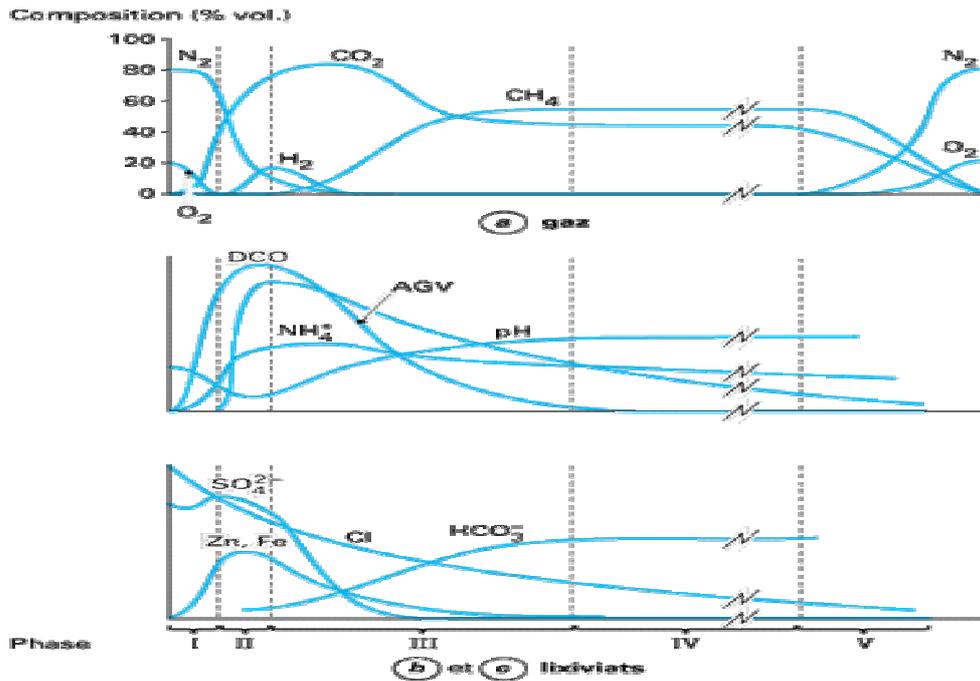


Figure III.2 : Évolution idéalisée, en fonction du temps, des effluents liquides et gazeux d'une décharge d'ordures ménagères [16]

Bon nombre d'auteurs ont étudié la composition d'un lixiviat en phases d'acidogénèse et de méthanogénèse sur des déchets enfouis en CSD classiques et n'ayant subi aucun prétraitement. Les gammes de valeurs correspondantes sont données Tableau III.2.

Tableau III.2 : Composition moyenne d'un lixiviat en phase acidogène et méthanogène (Unités en mg/L sauf pour le pH) [14]

paramètres	Acidogénèse	Méthanogénèse	Acidogénèse	Méthanogénèse
pH	4,5-7,8	6,8-9	4,5-7,8	6,4-9
DBO ₅	4000-68000	20-1770	500-68000	0,5-1770
DCO	6000-152000	500-8000	400-152000	1-8000
COT	1010-29000	184-2270	350-29000	14-2270
AGV	963-22414	5-146	/	/
SO_4^{2-}	5-1750	5-420	4-2800	1-1190
Ca	10-6240	20-600	/	/
Mg	25-1150	40-478	/	/
Fe	20-2300	1,6-280	0,1-2300	0,2-330
Mn	0,3-164	0,03-45	/	/
Zn	0,1-140	0,03-6,7	0,02-200	0,005-9
Cu	0,13	0,13	0,003-1,1	0,007-0,6
Cd	0,02	0,015	0,002-0,10	0,0001-0,9
Cr	0,13	0,090	0,01-1,5	0,0001-0,7
Ni	0,4	0,17	/	0,036-0,6
Pb	0,28	0,2	/	0,0001-1,9

/ : Données manquantes

La comparaison des paramètres physico-chimiques globaux a conduit, à proposer une classification des lixiviats selon l'âge de la décharge (tableau III.3) [15].

Tableau III.3 : Comparaison des lixiviats selon l'âge de la décharge [26], [27].

	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	< à 5 ans	5 à 10 ans	> 10 ans
pH	< 7	≈ 7	> 7
DCO (gO ₂ .L ⁻¹)	> 20	3 à 15	< 2
Biodégradabilité (DBO ₅ /DCO)	Moyenne, > 0,3	Assez faible, 0,1 à 0,3	Très faible, < 0,1
Concentration en acides organiques	Forte, > 80 % du COD	Moyenne, 20 à 30 % du COD	nulle
Charge organique	Prédominance des acides gras volatils	Réduction des acides gras volatils	Prédominance des macromolécules

D'après les différents paramètres donnés par le tableau, un lixiviat jeune âgé de moins de 5 ans se situerait encore en phase d'acidogénèse, un lixiviat intermédiaire dont l'âge serait compris entre 5 et 10 ans correspondrait à la mise en place des phases d'acétogénèse et de méthanogénèse alors qu'un déchet d'âge supérieur à 10 ans, dit « stabilisé » appartiendrait aux phases de méthanogénèse et de maturation. Cependant la qualité du lixiviat n'évolue pas toujours de la même façon et l'âge du lixiviat n'apparaît pas comme un facteur déterminant pour définir l'état de dégradation d'un déchet.

Si des traitements biologiques permettent d'abattre la charge organique des lixiviats jeunes (lagunage aéré, boues activées, procédés à cultures fixées...), les traitements physicochimiques sont souvent préférés sur des lixiviats anciens (coagulation-floculation, précipitation à la chaux, oxydation, procédés membranaires...) [15].

III-2 Indicateurs chimiques dans le lixiviat

Les différents indicateurs chimiques utilisés peuvent être mesurés sur le lixiviat lui même ou sur des lixiviats issus de tests de lixiviation. En plus du pH et de la concentration en AGV qui constituent de bons indicateurs de dégradation, d'autres paramètres peuvent être utilisés.

III-2-1 Evolution du pH

Son évolution est une fonction linéaire du temps pour une courte période de vie de la décharge, essentiellement durant l'utilisation des AGV (Tableau III.4 où t est en année).

Tableau III.4 : Evolution du pH des lixiviats en fonction du temps [28].

Age de la décharge	pH des lixiviats
0 à 2 ans	Acidification importante et variable
2 à 6 ans	$\text{pH} = 0,71.t + 4,5$
Après 6 ans	Stabilisation du pH à 8 – 8,5

III-2-2 Le carbone organique dissous

Le carbone organique dissous correspond à la fraction inférieure à 0,45 μm . Il peut être utilisé pour caractériser le carbone dissous disponible pour la biodégradation dans le lixiviat et pour estimer l'impact potentiel des déchets sur l'environnement. C'est le paramètre indicateur du degré de stabilisation le plus adapté pour le compost [14].

C'est en effet le paramètre le plus facilement actif dans le compost étant donné que le carbone organique extrait de déchets frais est constitué de sucres, hémicellulose, substances phénoliques, acides aminés, peptides ou d'autres substances facilement biodégradables [14].

III-2-3 Le rapport DBO₅/DCO

Le rapport DBO₅/DCO permet d'estimer la biodégradabilité de la matière organique (Tableau III.5). Ce ratio est généralement corrélé à l'âge des lixiviats et donc au degré d'avancement de la stabilisation du massif. Une diminution de ce rapport et donc de la biodégradabilité est observée avec l'âge du déchet [14].

Tableau III.5 : Biodégradabilité et stabilité des déchets en fonction du rapport DBO₅/DCO

Rapport DBO ₅ /DCO	Biodegradabilité [26]	Rapport DBO ₅ /DCO	Stabilité [29]
> 0.3	Biodegradabilité moyenne	> 0.5	CSD jeune et instable
0.1-0.3	Biodegradabilité faible	0.1-0.5	CSD modérément stable
< 0.1	Biodegradabilité très faible	< 0.1	CSD vieux et stable

En revanche, ce paramètre n'est pas toujours fiable car les caractéristiques du lixiviat produit ne sont pas toujours représentatives de l'état de dégradation de l'ensemble de la masse de déchet.

III-2-4 L'indice SUVA

L'indice SUVA traduit l'absorbance UV spécifique correspondant au rapport de l'absorbance UV à 254 nm sur le COD. Cet indice est caractéristique de l'aromaticité et du caractère hydrophobe des molécules organiques. Il augmente avec l'aromaticité et le poids moléculaire des molécules [14].

III-2-5 Le rapport E₄/E₆

Le rapport E₄/E₆ correspond au rapport de l'absorbance à 465 nm sur l'absorbance à 665 nm. Il apporte également des informations sur l'aromaticité des molécules, leurs poids moléculaires et leur degré d'humification. Ce rapport diminue lorsque le poids moléculaire et le taux d'humification augmentent. L'absorbance entre 460 et 480 nm reflète la matrice organique au début de l'humification alors que l'absorbance entre 600 et 670 nm serait l'indicateur d'une matière organique fortement humifiée avec un degré élevé de groupes aromatiques et condensés [14].

III-3 Impact des lixiviats sur l'environnement

Un des problèmes les plus importants en ce qui concerne la conception du maintien d'un enfouissement des déchets est le lixiviat qui est produit quand l'eau passe dans les déchets. Le lixiviat comprend une masse de composants organiques et inorganiques différents qui peuvent être ou dissous ou suspendus. Indépendamment de la nature des composants, il pose un problème de pollution potentiel sur les terrains locaux et les eaux de surface.

III-3-1 Type de pollution sur l'homme et l'environnement

III-3-1-1 Le chrome

III-3-1-1-a)-Effet biologique sur l'homme : Le chrome hexavalent est responsable de dommages aux voies respiratoires (ulcération de la muqueuse nasale, perforation du septum, cancer des voies pulmonaires et à la peau.). Le chrome trivalent étant moins dangereux, son effet étant principalement une forme de dermatite. La dose mortelle la plus faible de bichromate de potassium est de 0,25 à 0,3 mg/l [13].

III-3-1-1-b) Effet biologique sur les algues et les plantes aquatiques : Le chrome hexavalent a un effet inhibiteur sur la photo synthèses des algues. La dose nécessaire pour réduire la photo synthèse de 50 % en quatre jours est estimée à 5 mg/l. [1].

III-3-1-1-c) Effet biologique sur les micro-organismes : Les bactéries sont moins sensibles que les algues, dans les cas les plus défavorables de l'ordre de 8 mg/l pour le chrome hexavalent et de 20 mg/l pour le chrome trivalent.

Le chrome peut gêner la bonne marche d'une station d'épuration. Une concentration en chrome hexavalent de 5 mg/l peut réduire l'efficacité de l'épuration dans un bassin d'aération de 50 % mais elle n'est réduite que 20 % pour la même concentration en chrome trivalent. [13]

III-3-1-2 Le fer

III-3-1-2-a) Effet biologique sur l'homme : Le fer intervient au niveau du métabolisme des mammifères particulièrement pour la synthèse de l'hémoglobine. La toxicité du fer pour l'homme est inexistante [13].

III-3-1-2-b) Effet biologique sur les poissons : L'action du fer dissous réside essentiellement dans le fait que ce métal se dispose à l'état d'hydroxyde sur le mucus alcalin des branchies des poissons, et non seulement colmate mécaniquement les branchies, mais aussi les détériore par érosion. Une quantité de 0,9 mg/l à PH=6,5 – 7,5 à un effet mortel [13].

III-3-1-2-c) Effet biologique sur les végétaux : Le sulfate de fer subit dans l'eau et le sol une décomposition par hydrolyse et une oxydation ferrique dans le sol et un lessivage des sels de calcium et de potassium. Ceci donne lieu à une acidification du sol, provoquant une disparition graduellement des diverses espèces de trèfle et les herbes douces, qui sont remplacées par des prêles des herbes acides et des mousses [13].

III-3-1-3 Le zinc

III-3-1-3-a) Effet biologique sur l'homme : La présence de zinc dans l'eau de boisson ne semble pas présenter d'effets toxiques pour l'homme, même pour des concentrations particulièrement élevées, mais peut donner un goût désagréable [17].

III-3-1-3-b) Effet sur les micro-organismes : Le zinc présente un effet toxique vis-à-vis des protozoaires et des bactéries, une concentration de zinc de 62,5 mg/l diminue de 50 % la DBO₅ des cours d'eau, et pour une concentration de 1 mg/l, le zinc a un effet de stimulation sur les bactéries nitrifiantes [17].

III-3-1-3-c) Effet sur les poissons

Ces derniers sont très sensibles au zinc, la concentration létale se situe entre 0,01 mg/l et 0,10 mg/l [18].

III-3-1-3-d) Effet sur les végétaux : Les sels de zinc détériorent l'appareil chlorophyllien des végétaux, la concentration qui influe sur la croissance en longueur des végétaux se situe entre 2 et 3 mg/l [17].

III-3-1-4 Les phosphates

III-3-1-4-a) Effet sur les algues : Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues, mais à fortes concentrations le phosphore devient un facteur inhibiteur de développement de certaines espèces d'algues. Les phosphates causent le phénomène d'eutrophisation [13].

III-3-1-4-b) Effet biologique sur les poissons : Les phosphates ont des effets nocifs sur certains poissons, avec une concentration et un temps de contact déterminés ; par exemple une concentration de 750 mg/l avec 96 h de contact est capable de tuer le genre de GAMBASIA [13].

III-3-1-5 Les graisses et les huiles : Les graisses et les huiles ont des effets nocifs sur l'environnement. Elles contaminent les nappes phréatiques, empêchent l'accès de l'oxygène dans l'eau (dans le cas où elles existent sous forme de couche sur les eaux de surface), et elles détruisent le béton des stations d'épuration. A une teneur supérieure à 500 mg/l dans les eaux résiduaires, les acides gras attaquent le béton [13].

On peut distinguer grossièrement quatre groupes de polluants en fonction de leur possibilité d'atténuation et de réaction avec le sol de la décharge et que l'on retrouvera donc dans la composition finale du lixiviat [19].

Tableau III.7 : Groupes de polluants en fonction de leur possibilité d'atténuation [19]

Les groupes	Degré d'atténuation	Métaux
1er groupe	Forte atténuation de polluant	Pb, Zn, Cd, Hg.
2ème groupe	Atténuation moyenne du polluant	Fe, Si, K, NH ₄ ⁺ , Mg.
3ème groupe	Faible atténuation du polluant	Na, Cl, matières organiques solubles.
4ème groupe	Phénomènes de largage	Mn, Ca.

III-3-2 Propagation de la pollution dans la nappe

L'estimation de la charge polluante produite par lessivage et qui migre dans la zone non saturée permet d'avoir une idée sur la charge polluante qui peut pénétrer dans la nappe (zone saturée) et qui peut se propager à sa surface, au niveau de la frange capillaire. Dans cette zone il est difficile d'estimer la vitesse de propagation de l'eau car de nombreux paramètres interviennent comme la dilution dans la nappe, la propagation différentielle dans les strates les plus perméables et les variations d'anisotropie (variation des propriétés des sols selon la direction considéré) et de densité des sols [20].

D'autres parts, les caractéristiques de la nappe et surtout le sens de son écoulement jouent un grand rôle dans la propagation de la pollution.

Il est notamment intéressant de savoir si la décharge est située en amont ou en aval des points de captage d'eau, dans ce dernier cas les risques de contamination d'une zone d'alimentation ou de drainage de la nappe sont exclus.

Le comportement des lixiviats en zone non saturée et saturée d'aquifères poreux peut se résumer ainsi :

- La biodégradation organique peut être considérable dans une décharge saturée. Les ions NH₄⁺ persistent dans ces conditions les ions SO₄²⁻ et NO₃⁻ est réduits.
- L'eau souterraine oxygénée semble être bénéfique pour dégrader rapidement les composés (oxydations des sulfures et des ammoniums respectivement en sulfates et nitrates) [13].

III-4 Traitement des lixiviats :

Bien que la décharge soit l'option la plus répandue pour l'élimination des déchets, le traitement type approprié au lixiviat demeure un défi scientifique.

Le choix de filière de traitement dépend de la nature des lixiviats. Autant il est possible d'estimer le volume de lixiviat en effectuant un bilan hydrique, autant la composition reste difficile à prévoir. On ne peut donc pas définir de traitement type, par contre il est possible prévoir des traitements selon l'âge des déchets. Préalablement à toute implantation d'une filière de traitement, il faudra réaliser des tests de traitabilité pour s'assurer des possibilités de traitement envisagé. Celui-ci devra être évolutif au cours du temps, afin de prendre en compte le changement des caractéristiques du lixiviat.

III-4-1 Traitement physico-chimiques :

III-4-1-a) Coagulation-floculation

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination des MES et colloïdales. Celle-ci est réalisée dans une étape ultérieure de séparation solide liquide: décantation, flottation ou filtration [21].

La floculation-coagulation a été utilisée pour le déplacement des composés organiques non-biodégradables et des métaux lourds du lixiviat de décharge. Le procédé de coagulation déstabilise les particules colloïdales par l'addition d'un coagulant. Pour augmenter la dimension particulaire, la coagulation est habituellement suivie de la floculation des particules instables. Cette technique facilite le déplacement des solides en suspension et des particules colloïdales d'une solution. L'approche générale pour cette technique inclut l'ajustement de pH et comporte l'addition des sels de ferriques et d'aluminium comme coagulant pour surmonter les forces répulsives entre les particules [22].

III-4-2 Traitement par filtration

III-4-2-a) Filtration sur charbon actif

L'adsorption est la méthode la plus généralement appliquée pour le déplacement des composés organiques récalcitrant du lixiviat de décharge. Fondamentalement, l'adsorption est un procédé de transfert de masse par lequel une substance est transférée à partir de la phase liquide à la surface d'un solide, et devient limitée par des interactions physiques et/ou chimiques. En raison de ses propriétés physiques inhérentes, grande superficie, structure microporeuse, capacité élevée d'adsorption et réactivité de surface, l'adsorption utilisant le charbon actif granulaire (GAC) ou le charbon actif par poudre (PAC) a suscité une attention considérable pour le déplacement des polluants organiques et inorganiques de l'eau usagée souillée. Le traitement du lixiviat de décharge en utilisant une adsorption séparée de GAC, une alumine activée granulaire (GAA) et/ou un chlorure ferrique (FC) a été également effectué. Parmi les trois adsorbants étudiés, GAC s'est avéré l'adsorbant le plus efficace pour le déplacement des métaux lourds (Cd(II), de Cu(II), de Cr(III), de Mn(II), de Pb(II) et de Zn(II)). Environ 80 –96% métaux lourds avec une première concentration de 184 mg/l pouvaient être enlevés à une gamme de pH de 6 –7,7 avec 2 g/l de GAC. [21]

III-4-3 Traitement par oxydation

Ils sont généralement employés lorsque les processus biologiques ont peu d'efficacité. L'oxydation chimique est le procédé le plus efficace pour le traitement de polluants organiques présents à l'état de traces. L'oxydation chimique a pour objectif, la minéralisation des composés organiques, c'est-à-dire la transformation en dioxyde de carbone et en eau et la transformation en produits moins nocifs. L'oxydation chimique peut être divisée en deux classes [35] :

- les traitements chimiques classiques,
- les procédés d'oxydation avancée.

III-4-3-1 Le traitement chimique classique

Le traitement chimique classique consiste à ajouter un réactif oxydant en solution afin d'obtenir l'oxydation des polluants organiques. Parmi les réactifs les plus utilisés on peut citer [35]:

- le chlore : oxydant puissant et peu coûteux, il présente l'inconvénient d'être peu sélectif, il produit habituellement des sous produits organochlorés cancérigènes (chloramines)
- le permanganate de potassium : c'est un oxydant puissant mais cher, qui fonctionne correctement dans une grande gamme de pH. Il se manipule difficilement et il ajoute du manganèse à l'eau traitée.
- l'oxygène : c'est un oxydant doux qui nécessite de gros investissements dans les installations. Son faible coût d'exploitation fait de lui un réactif attrayant.
- le peroxyde d'hydrogène : c'est un oxydant qui est utilisé dans de nombreux procédés. Il peut être utilisé directement ou avec un catalyseur. Cependant sans catalyseur il ne permet pas la dégradation de certains composés organiques.
- l'ozone : c'est un oxydant puissant qui présente l'avantage, comme le peroxyde d'hydrogène et l'oxygène, de ne pas introduire d'éléments supplémentaires dans le milieu. En revanche il s'agit d'un gaz instable qui doit par conséquent être produit sur site. A pH basique, il peut produire des radicaux hydroxyles et donc être considéré comme un procédé d'oxydation avancée.

III-4-3-2 Les procédés d'oxydation avancée

Les procédés d'oxydation avancée (POA) ont été définis en tant que procédés ayant lieu à température et pression ambiante et produisant des radicaux très réactifs (en particulier les radicaux hydroxyles) permettant ainsi le traitement d'effluents aqueux.

Les nombreux procédés d'oxydation avancés ont en commun beaucoup de similitudes du fait de la participation des radicaux hydroxyles dans la plupart des mécanismes [36].

Comme les radicaux hydroxyles sont des espèces très réactifs et instables, ils doivent être produits de façon continue au moyen de plusieurs réactions: chimiques, photochimiques, biologique ou électrochimiques. Une classification des principaux procédés de production de ces radicaux est donnée sur le tableau III.8.

Tableau III.8 : Classification des procédés d'oxydations avancées [37]

H ₂ O ₂ / Fe ³⁺	Fenton
H ₂ O ₂ / Fe ²⁺ (Fe ³⁺) UV	Photo-fenton (photo catalyse homogène)
TiO ₂ / UV	Photocatalyse hétérogène
O ₃ / UV	Oxydation UV
H ₂ O ₂ / UV	Photochimie assistée
Nouvelles technologies	Electrochimie, irradiation sous vide et sonochimie (ultrasons)

Dans les procédés d'oxydation avancée, on caractérise souvent la charge organique de l'effluent en mesurant la DCO (Demande Chimique en Oxygène). Habituellement les effluents aqueux dont la DCO est inférieure à 10 g/L peuvent être traités par des procédés d'oxydation avancée. Si la DCO de l'effluent à traiter est supérieure, il est généralement nécessaire d'augmenter la concentration en réactif, ce qui accroît considérablement le coût du procédé. Par conséquent, pour des DCO trop importantes (> 10 g/L) il est préférable d'utiliser le procédé d'oxydation en voie humide alors qu'au delà de 200 g/L, l'incinération est le procédé préféré [38].

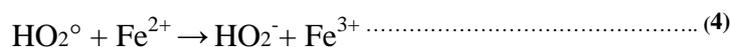
III-4-3-3 Le procédé d'oxydation fenton

La réaction de Fenton est basée sur le transfert d'électron entre la molécule de H₂O₂ et un métal (le fer), agissant comme un catalyseur homogène. Depuis très longtemps, le plus utilisé d'entre eux est le fer. L'efficacité de ce procédé a été observée pour la première fois en 1894 par son inventeur Fenton, mais son utilité a seulement été reconnue à partir de 1930 lorsque le mécanisme avec les radicaux hydroxyles fut proposé. Le procédé Fenton peut être utilisé pour traiter une grande variété de déchets industriels, à savoir : phénol, formaldéhyde, pesticides, ... Ce procédé peut être adapté aux traitements des eaux, des boues, des sols contaminés en réduisant la toxicité, l'odeur et en augmentant la biodégradabilité.

Dans le procédé Fenton, les radicaux hydroxyles sont générés à partir de sels ferreux, comme le montre la réaction suivante :



D'autres mécanismes, communément admis peuvent avoir lieu lors d'une réaction de Fenton :

$$\text{HO}^\circ + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{HO}_2^\circ \quad (2)$$


Pour des valeurs de pH comprises entre 0 et 3, les Équation (1) et Équation (3) sont prédominantes pour un rapport molaire [H₂O₂]/[Fe²⁺] égal à 1/2. Lorsque ce rapport augmente, l'Équation (2) est favorisée [39].

Le principal désavantage du procédé Fenton est la nécessité de maintenir le pH à de faibles valeurs (normalement au dessous de 4) sinon les ions fer III précipitent sous forme hydroxyde.

En présence des composés organiques, les radicaux hydroxyle peuvent attaquer les produits organiques par quatre voies: addition de radical, abstraction d'hydrogène, transfert d'électron, et combinaison de radicaux. Les radicaux (R[•]) formés par la réaction des radicaux hydroxyle et des composés organiques, peuvent rapidement et habituellement irréversiblement réagir avec de l'O₂ dans l'eau [47].



Ces radicaux R[•], ROO[•], et R-O[•] peuvent former des molécules relativement stables, ou réagir avec des ions de fer. Les produits organiques intermédiaires peuvent continuer à réagir avec les radicaux hydroxyle et le O₂, cela mènera à une autre décomposition et même à une minéralisation finale en eau et à CO₂ [47].

Tableau III.9 : Liste limitée des réactions pouvant intervenir dans le système de procédé Fenton et constantes cinétiques correspondantes [35].

Réaction	k (M ⁻¹ s ⁻¹)
Oxydation de la matière organique	
RH + OH → R + H ₂ O	10 ⁷ - 10 ⁸
R + R'H → R' + RH	
R + O ₂ → ROO	10 ⁶ - 10 ⁷
R + R → R - R	
R + OH → R - OH	
R + Fe ²⁺ → Fe ²⁺ + R [•]	
R [•] + OH → R-OH	
R + Fe ²⁺ → Fe ³⁺ + R	
R [•] + H ⁺ → RH	
ArH + OH → ArH(OH)	10 ⁹ - 10 ¹⁰
ArH(OH) + O ₂ → Ar(OH) + HO ₂	10 ⁶ - 10 ⁷
C ₆ H ₆ + OH → C ₆ H ₆ (OH)	7,8 10 ⁹
C ₆ H ₅ (OH) + O ₂ → C ₆ H ₅ (OH) + HO ₂	
C ₆ H ₅ (OH) + OH → C ₆ H ₅ (OH) ₂	1,4 10 ¹⁰
C ₆ H ₅ (OH) ₂ + O ₂ → HO-C ₆ H ₄ -OH + HO ₂	
HO-C ₆ H ₄ -OH + 2 OH → O=C ₆ H ₄ =O + 2 H ₂ O	

Bien que la réaction de Fenton ait été appliquée à la destruction des produits organiques toxiques depuis les années 60, récemment une approche a été rapportée pour le traitement des lixiviats de décharge [41].

Malgré ses avantages, quelques inconvénients principaux du procédé de Fenton sont ses coûts opérationnels élevés dus aux produits chimiques exigés et au coût de traitement des boues produites. Etant donné que le réactif de Fenton, particulièrement le H₂O₂, est très agressif, la corrosion peut être un problème potentiellement sérieux. En outre, le catalyseur

homogène supplémentaire en tant que sels de Fe(II) ne peut pas être maintenu pendant la dégradation, parce que le procédé d'oxydation produit la boue qui contient l'hydroxyde de fer comme sous produit précipité, cela nécessiterai le traitement des boues. Dans ce cas-ci, le coût de traitement des boues doit être pris en compte en évaluant la rentabilité du procédé. Un autre inconvénient est qu'un approvisionnement continu en produits chimiques d'alimentation est exigé pour empêcher la stagnation dans le procédé de Fenton [41].

III-4-4 Traitement membranaires

III-4-4-a) Osmose inverse.

Avec des flux élevés et la capacité de fonctionner la température large finie et pH s'étendent, **OI** est un autre traitement physico-chimique alternatif pour le lixiviat stabilisé. Dans l'application d'OI, n'importe quel dissolvant qui contient des cations en métal est passé par une membrane de telle manière que les concentrations en métal soient réduites. Avec le taux de rejet 98- 99% pour les contaminants organiques et inorganiques, l'OI peut être utilisé pour le déplacement des métaux lourds, des matériaux de suspension colloïdale et des solides dissous du lixiviat de décharge. Elle utilise les propriétés de membranes semi-perméables à travers lesquelles l'eau migre, alors que tous les solutés sont rejetés, à l'exception de quelques molécules organiques très voisines de l'eau (faible masse molaire, polarité forte) [21].

III-4-4-b) Nanofiltration (NF)

En raison de ses propriétés uniques entre les membranes de l'ultrafiltration (UF) et de l'osmose inverse (OI), la NF a trouvé un endroit dans le déplacement des composés organiques récalcitrant et des métaux lourds du lixiviat de décharge. Ce processus de traitement a la capacité d'enlever des particules avec un poids moléculaire plus haut que 300 aussi bien que les substances inorganiques par des interactions électrostatiques entre les ions et les membranes. La signification de cette membrane se situe dans ses frais extérieurs, qui permettent aux corps dissous chargés plus petits que les pores de membrane d'être rejetés, avec de plus grands corps dissous et sels neutres. [21] Il s'agit d'une variante des membranes d'O.I. d'introduction assez récente caractérisée par : - un passage des sels monovalents relativement élevé: 30 à 60 %, - un passage des sels bivalents beaucoup plus faible: 5 à 15 %, un passage des solutés organiques du même type que les membranes d'osmose [21].

III-4-4-c) Ultrafiltration

Les membranes d'ultrafiltration, de structure plus lâche (asymétrique ou composite), ne permettent plus de rejeter que les solutés les plus grossiers (macromolécules) et a fortiori tous éléments particuliers tels que les virus et bactéries. Elles sont communément caractérisées par leur "point de coupure": taille de la protéine de plus faible masse molaire rejetée par la membrane. On trouve ainsi des membranes industrielles à point de coupure allant de $2 \cdot 10^3$ à 10^5 daltons [21].

III-4-4-d) Microfiltration (M.F.)

Ces membranes n'altèrent plus du tout la composition de la solution; seuls les matières en suspension, colloïdes, bactéries ...sont rejetés (filtrés). Dans ce cas, les phénomènes décrits ci-

dessus comme conséquence du rejet des solutés (pression osmotique - concentration de polarisation) disparaissent et l'on retrouve à leur place les phénomènes de filtration sur milieux poreux peu épais: colmatage par accumulation d'un gâteau, ou colmatage interne aux pores [21].

III-4-4-e) Résines échangeuses d'ions

Un échangeur d'ions est un solide insoluble (des macromolécules portant des groupements ionisables) qui, au contact d'une solution ionique, peut échanger les ions qu'il contient avec d'autres ions de même signe présents dans la solution.

On les utilise sous forme de grain très fin. Pour accélérer les échanges et atteindre l'état d'équilibre en un temps aussi court que possible, par présentation d'une surface maximum de contact avec la solution ; Actuellement, on réalise des échangeurs d'ions organiques grâce à la stabilité de certains polymères synthétiques face au caractère acide, basique, oxydant ou réducteur de nombreuses solutions ioniques. Les caractéristiques parfaitement reproductibles de ces échangeurs d'ions artificiels ont permis de connaître avec précision le phénomène d'échange et de développer de nombreuses applications [21].

III-4-5 Traitement biologique

III-4-5-1 Lagunage

III-4-5-1-a) Lagunage naturel (aérobie)

Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matière vivante par les chaînes alimentaires aquatiques (chaînes trophiques). L'épuration des effluents est réalisée essentiellement par des **bactéries aérobies** dont l'oxygénation est assurée par l'action chlorophyllienne de végétaux qui participent aussi à la synthèse directe de la matière organique - les **microphytes** ou algues microscopiques. Ce sont essentiellement des algues vertes ou bleues difficilement séparables, - les **macrophytes** ou végétaux macroscopiques qui comprennent des formes libres (ex. lentilles d'eau) ou fixées (ex. roseaux). Les jacinthes d'eau peuvent. [21]

III-4-5-1-b) Lagunage aéré

L'apport d'oxygène est essentiellement assuré de façon artificielle: aérateurs mécaniques flottants ou fixes, insufflation d'air. En l'absence d'un compartimentage bien délimité le réacteur biologique peut se rapprocher d'un système à mélange intégral. Les équilibres biologiques sont voisins de ceux du procédé classique par boues activées bien qu'un certain développement algal soit inévitable. La concentration en micro-organismes est faible et la décantation du floc bactérien très médiocre. Les lagunes aérées sont souvent suivies de vastes lagunes de décantation (éventuellement équipées de systèmes d'évacuation des boues) [21].

III-4-5-1-c) Lagunage anaérobie

Dans ces lagunes, le rendement d'épuration escompté dépend essentiellement du développement d'une fermentation méthanique. Il n'est, de ce fait, applicable que sur des effluents à forte concentration et, le plus souvent, à titre de prétraitement avant un deuxième

stade d'épuration de type aérobie. Dans ceux-ci se développent des phénomènes de fermentation anaérobie avec minéralisation de la matière organique et dégagement de CO₂, CH₄ (et éventuellement H₂S). Ces dépôts sont particulièrement importants en l'absence de brassage et sur des effluents contenant beaucoup de matières en suspension décantables [21].

III-4-5-2 boues activées

III-4-5-2-a) Description du procédé d'épuration à boues activées :

Le procédé d'épuration biologique à boues activées est un procédé très couramment utilisé. Selon FNDAE de 1995, il s'agit du procédé le plus fréquent pour les installations de moins de 2000 EH (Equivalent Habitat) : 46% en nombre et 69% en capacité correspondent à boues activées à aération prolongée. Pour les installation de plus de 2000 EH, on retrouve la même domination avec environ 65% des installations qui correspondent à une capacité de 75%.

Un bassin à boues activées est un réacteur biologique, alimenté en continu par l'eau usée à traiter, dans lequel la biomasse est brassée est aérée en même temps que l'eau usée. Dans ce procédé les molécules biodégradables sont mises en contact avec des amas biologique floculés (floc) maintenus en suspension au sein du liquide à traiter, de façon à assurer un contact intime avec toutes les parties de l'effluent [42].

Le processus de dégradation des molécules est aérobie, donc la présence d'oxygène est nécessaire pour oxyder les matières organiques solubles et colloïdes en CO₂ et H₂O. Cet oxygène est apporté par un système d'aération installé à l'intérieur du réacteur biologique.

Après un temps de contact, le mélange floc + eau épurée, appelé « liqueur mixte », arrive dans un décanteur, ou clarificateur, destiné à séparer l'eau épurée des floes. Les floes, du fait de leur densité supérieur à celle de l'eau, sédimentent dans le fond de clarificateur pour former les boues. L'eau épurée sort à la surface du clarificateur, par surverse, et est, en règle générale, rejetée dans le milieu naturel.

La majeure partie des boues activées épaissies, au fond du décanteur, est renvoyée ou recirculée dans le bassin aéré pour y maintenir une concentration optimale en boues (concentration en MES nominale). L'excédent de boues est extrait du système de boues activées pour être envoyé en traitement des boues.

Le processus de dégradation de la matière organique se déroule en trois étapes essentielles :

- adsorption par oxydation sur les floes biologiques ;
- dégradation par oxydation des molécules, entraînant la synthèse de nouveaux microorganismes, donc accroissement de la biomasse ;
- oxydation et dégradation d'une partie des floes biologique ou matériaux de réserve des microorganismes des floes si l'apport en matière organique est trop faible : phénomène de respiration endogène.

La boue activée est un liquide marron à gris contenant des particules floconneuses formées de microorganismes et des débris végétaux et minéraux. L'étude des microorganismes présents ainsi que celle des relations qu'ils établissent entre eux permettent de comprendre les phénomènes d'épuration biologique.

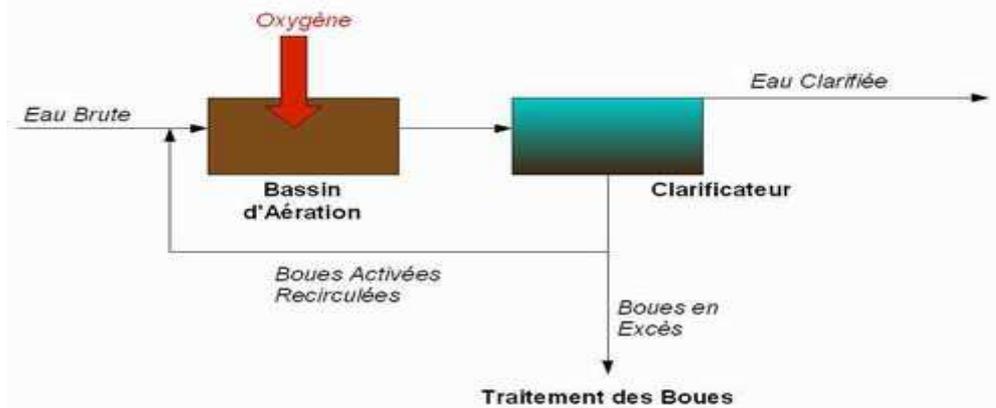


Figure III.3 : Schéma du principe d'une installation à boue activée

III-4-5-2-b Les microorganismes intervenant dans le procédé :

Le procédé d'épuration par boues activées est la reproduction amplifiée du phénomène naturel d'autoépuration de l'eau. En effet, la microflore de l'eau intervient dans la dégradation naturelle de la matière organique et participe ainsi au recyclage des éléments chimiques (cycle du carbone, de l'azote, du phosphore...).

Dans les installations à boues activées, ne sont présents que des organismes de petite taille, essentiellement des bactéries, mais en forte densité ; on parle de procédé intensif. Dans le milieu naturel, les espèces participant à l'autoépuration sont beaucoup plus diversifiées avec des tailles plus hétérogènes [42].

Parmi les microorganismes des boues activées, par analogie avec les écosystèmes naturels, on distingue deux groupes distincts : la microflore et la microfaune.

✓ La microflore des boues activées

Elle correspond à l'ensemble des bactéries présentes dans la boue activée. Ces bactéries représentent la maillon essentiel du traitement car elles vont consommer les molécules organique des eaux usées et permettre ainsi leur épuration. Grâce à cette activité, elles se multiplient et sont le point de départ d'une chaîne trophique, d'où le terme de microflore car la flore est l'élément de départ des écosystèmes naturels.

Ces bactéries peuvent se présenter sous différentes formes :

- bactérie libres, en général peu abondantes du fait de la prédation par d'autres microorganismes ;
- bactéries filamenteuses, présentes normalement en petite quantité mais qui peuvent proliférer dans certains conditions et poser des problèmes de fonctionnement ;
- bactéries floculées qui s'agrègent pour donner des floccs qui décantent dans le clarificateur.

Les concentrations en microflore sont très élevées, de l'ordre de 10^{11} à 10^{12} bactéries par litre de boues activées. Malgré la diversité des espèces bactériennes susceptibles d'y être ensemencées, provenant des matières fécales mais aussi des eaux naturelles ou de l'air, les boues activées se révèlent être un milieu très sélectif et seulement une dizaine de souches bactériennes sont présentes à un instant donné au niveau d'une installation. Des études ont montré que les bactéries intestinales se développent peu et survivent difficilement dans ce milieu. On retrouve des bactéries appartenant aux familles taxonomiques les plus classiques, avec majoritairement des bacilles Gram- asporulants. Collin, en 1979, a donné la répartition suivante :

- Bacilles Gram- : 57%, dont 54% de Pseudomonas, Alcaligenes, Flavobacterium ;
- Cocci Gram+ : 23%, dont 82% de Micrococcus ;
- Bacilles Gram+ : 20%, dont 57% de Kutthia.

La répartition interspécifique est très variable selon la boue activée, son âge, la composition biochimique et physicochimique de l'effluent.

✓ **La microfaune des boues activées**

Elle est très importante en quantité, de l'ordre de 10^6 à 10^8 cellules par litre de boues activées. Elle intervient comme prédateur des bactéries isolées et des cadavres de bactéries et, ainsi, participe à la clarification de l'effluent. Selon l'organisation cellulaire des microorganismes on distingue deux familles d'individus : les Protozoaires et les Métazoaires.

• **Les Protozoaires**

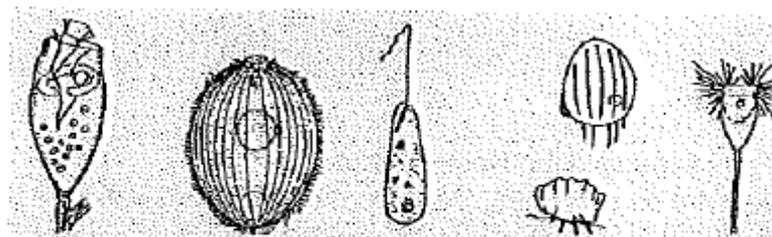
Ce sont des organismes eucaryotes (qui peuvent même posséder plusieurs noyaux), unicellulaires, mobiles et de petite taille (de 1 à $500\mu\text{m}$). Ils se nourrissent essentiellement de bactéries et de molécules organiques dissoutes mais présentent une très grande variété de types trophiques : certains se nourrissent de bactéries, certains d'algues, certains d'autres protozoaires et certains de plusieurs de ces organismes. Leur rôle principal est la clarification de l'effluent par prédation des bactéries libres de l'eau interstitielle.

Le nombre d'espèces actuellement identifiées est de l'ordre de 5000 pour les écosystèmes naturels et, « seulement », de 200 à 250 dans les boues activées. Dans une installation donnée, on recense en moyenne 55 à 7 espèces différentes. L'embranchement des Protozoaires est ainsi divisé en sous-embranchement :

- Rhizoflagellés ;
- Rhizopodes ;
- Ciliés ;
- Cninosporidies
- Sporozoaires.

• **Les Métazoaires**

A la différence des protozoaires, les Métazoaires sont des organismes pluricellulaires, de taille supérieur à $100\mu\text{m}$ et pouvant aller jusqu'à 1mm. Leur organisation cellulaire est plus complexe que celle des microorganismes unicellulaires, avec une différenciation cellulaire pour former des tissus. Leur temps de reproduction est également plus long, du fait de leur complexité, ce qui implique qu'ils ne sont présents que dans des installations avec des âges de boues élevés (station à faible charge ou aération prolongée). Dans les boues activées, on retrouve, de manière fréquente, essentiellement deux familles : les Rotifères et les Nématodes.



Opercularia microdiscum, Holophrya sp, Peranema sp, Asplidisca costata, Acineta grandis

Figure III.4 : La microflore et la microfaune de la boue activée [43]

III-4-5-2-c) Analyse microscopique des boues activées

✓ Intérêt d'analyse

Elle va permettre de tirer des conclusions sur le fonctionnement de l'installation de boues activées. Ces conclusions nécessitent, de plus, une connaissance poussée de l'écologie des boues activées ainsi que de l'installation.

• Notion d'instabilité de l'écosystème

Les signes d'instabilité d'un écosystème sont :

- absence de faune ou peu d'espèces représentées ;
- absence permanente d'espèces du floc ;
- cadavres de Protozoaires et Métazoaire ;
- pullulement de prédateurs ;
- bactéries libres très nombreuses ;
- anaérobiose transitoire prouvée.

Si un ou plusieurs de ces signes sont présents, cela signifie que l'écosystème est fragile et moins apte à remplir son rôle épurateur [43].

• Interprétation en terme technique de l'épuration

Charge massique, âge des boues, degré de stabilisation.

• Indication des points suspectés de dysfonctionnement

Elle entraîne la décision d'analyses complémentaires, ceci, en particulier, lors de la présence de bactéries filamenteuses.

III-4-5-2-d) Le foisonnement des boues activées : problèmes dus aux bactéries filamenteuses

De nombreuses espèces de bactéries filamenteuses existent normalement, à des concentrations faibles, dans les boues activées. Elles ne présentent une gêne pour l'exploitant que lorsque leur développement est excessif et qu'elles envahissent la culture. En effet, ces floes filamenteux décantent difficilement et sont plutôt entraînés dans l'eau épurée, ce qui cause des départs de boues et altère la qualité de l'eau traitée.

Ce phénomène qui touche une station à boues activées sur 4 en France, s'appelle le foisonnement des boues activées ou *bulking*. Il faut noter que ce n'est pas le seul phénomène responsable de départs de boues pour ces stations, ils peuvent être dus également à :

- des difficultés de floculation avec une croissance dispersée ;
- des problèmes liés à la densité des particules avec des dégagements gazeux, lors de fermentation ou de dénitrification par exemple.

Ceci explique l'intérêt de bien déterminer la cause du départ de boues pour mieux l'éliminer.

III-4-5-2-e) Pourquoi traiter les lixiviats de CET par voie biologique :

Cette question se pose, a priori, surtout dans le cas de CET de classe 1, recevant des déchets industriels. On pourrait s'attendre à collecter des lixiviats fortement chargés en métaux ou en anions solubles (chlorures, sulfates,....)

Pourquoi les lixiviats peuvent-ils être traités par voie biologique ?

Pour deux raisons :

- ✓ la teneur en métaux des lixiviats est relativement faible et ne constitue pas un facteur inhibiteur des microorganismes intervenant dans l'épuration biologique ; cela est sans doute dû au fait que les analyses initiales et les contrôles d'entrée sur les CET sont efficaces et rigoureux .
- ✓ d'autre part, il n'a jamais été mis en évidence d'inhibiteur de l'activité biologique, ni par analyse, ni par observation d'un arrêt inexplicable de l'activité biologique.

Jusqu'à présent, les lixiviat issus des CET ont pu être traités par voie biologique et les rendements obtenus pour l'abattement de la DCO ont été dans certains cas très élevés (de 90 à 95 %).

On pourrait penser que les caractéristiques du lixiviat puissent changer au cours du temps avec l'apparition de métaux, auquel cas les prétraitement physico-chimique deviendraient nécessaires. Cette hypothèse s'avère peu vraisemblable car la masse des déchets constitue un milieu tamponné, neutre ou légèrement alcalin qui a peu de raisons d'évoluer [44].

III-4-5-2-f) Mise en œuvre de traitement biologique :

✓ Conditions de fonctionnement :

Le bon fonctionnement d'un traitement biologique dépend de nombreux facteurs. Trois facteurs sont mis en évidence :

- **carence en phosphore** : les lixiviats présentent systématiquement une carence en phosphore assimilable par des bactéries. Il est donc primordial d'assurer un ajout de phosphore (sous forme) pour respecter un rapport DCO/P < 150. il est conseillé de maintenir le rapport DCO/P dans les valeurs les plus basses possibles.
- **Présence de microorganisme** : nous avons constaté que les lixiviats contiennent naturellement les microorganisme capables d'assurer la dégradation des éléments organiques. L'ajout de boues activées de station d'épuration urbaines accélère, cependant, la cinétique de l'épuration. Notons que l'introduction de boues provoque, dans un premier temps une augmentation de la DCO, rapidement compensée par l'amélioration provoquée par cet apport.
- **La température** : les microorganismes sont opérationnels dans une large gamme de température. On sait, cependant, qu'en dessous de 15 °C, l'activité des bactéries est fortement diminuée et presque totalement arrêtée en dessous de 5 °C [44].

✓ **Mise en œuvre du traitement biologique**

Trois types de procédés sont envisagés pour le traitement biologique des lixiviats de CET :

- Traitement en discontinu
- Traitement en continu
- Traitement sur lits bactériens

❖ **Traitement en discontinu**

Un bassin rempli de lixiviats ensemencés avec des boues activées de station d'épuration urbaine et enrichis en acide phosphorique. Une ou plusieurs turbines flottantes apportent l'oxygène nécessaire à la fermentation aérobie.

Le chimiste du site suit quotidiennement l'évolution de la DCO. La courbe de cette évolution atteint un palier inférieur qui représente la DCO résiduelle au traitement biologique. A ce stade, le traitement est optimum.

Cette technique présente plusieurs inconvénients :

- Arrêt du traitement en hiver, les bactéries n'étant plus actives d'où problème de stockage des lixiviats.
- Risque de multiplication des bassins de stockage, si les lixiviats ne sont pas traités quotidiennement et si le stock hivernal est mal géré.
- Rejet des eaux « en batch », c'est-à-dire par grandes quantités sur assez court laps de temps, ce qui est, a priori, plus préjudiciable au milieu récepteur que le rejet des mêmes volumes en continu.

Malgré son apparente simplicité ce procédé demande un suivi quasi quotidien et beaucoup de sérieux dans la mise en œuvre pour que l'on obtienne des résultats satisfaisants.

❖ **Traitement en continu :**

Ce type de traitement permet un rejet en continu qui minimisera les risques de perturbations sur le milieu naturel.

Le bassin d'aération est subdivisé en plusieurs compartiments par des chicanes. L'aération est assurée par des diffuseurs d'air comprimé en fond de bassin, afin d'assurer un brassage maximum et d'éviter les zones mortes.

Bien entendu, un suivi très attentif de la concentration de la biomasse est nécessaire, celle-ci ne devant pas descendre en dessous d'une certaine valeur, ce qui entraînerait un arrêt du système.

III-4-5-3 Culture fixée

III-4-5-3-a) Le film biologique

La plupart des micro-organismes sont capables de coloniser la surface d'un solide quand ils disposent de composés organiques, de sels minéraux et d'oxygène. La fixation se fait par l'intermédiaire d'une matière gélatineuse à base d'exopolymères produite par les bactéries et à l'intérieur de laquelle ces dernières ont une certaine mobilité. La colonisation initiale d'un solide s'effectue sur un certain nombre de sites privilégiés et à partir de ces sites, il y a développement continu du biofilm, jusqu'à ce que la surface totale du support soit couverte par une couche monocellulaire. L'oxygène et les nutriments véhiculés par l'eau à traiter,

diffusent à travers l'épaisseur du biofilm, jusqu'à ce que cette épaisseur soit telle que les amas cellulaires les plus profonds ne soient plus atteints par l'oxygène et les nutriments [21].

III-4-5-3-b) Lits à ruissellement (lits bactériens)

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien, quelquefois appelé filtre bactérien ou filtre percolateur, par analogie au terme anglais "biofilter", consiste à faire ruisseler l'eau à traiter sur une masse de matériau, de surface spécifique comprise entre 50 et 200 m²/m³, servant de support aux microorganismes épurateurs qui y forment un film plus ou moins épais [21].

III-4-5-3-c) Lits granulaires

L'activité d'une culture bactérienne dépend, en particulier, de sa surface d'échange avec le substrat et l'oxygène. Dans les boues activées, cette surface est restreinte du fait de l'état floculé des micro-organismes, état floculé qui est indispensable si on veut obtenir une séparation correcte boue-eau traitée dans l'ouvrage de séparation finale. Plus le floc est important, plus la diffusion du substrat et de l'oxygène vers les microorganismes situés à l'intérieur est ralentie [21].

III-4-6 Combinaisons de traitements

L'hétérogénéité, la composition changeante d'une saison à une autre et d'une région à une autre, font des lixiviats de décharges des eaux très difficiles à traiter, c'est pour cela qu'un traitement à lui seul peut être insuffisant, d'où le besoin de combiner deux ou plusieurs traitements afin de dépolluer au mieux ces eaux.

Le Tableau III.10 résume la différence de l'efficacité de certains traitements physico-chimiques uniques et lorsqu'ils sont combinés avec d'autres [24] :

Tableau III.10 : Efficacité de certains traitements uniques et combinés [24].

Traitement unique	Résultat	Traitements combinés	Résultats
Coagulation	- 43% de DCO	+ oxydation par le H ₂ O ₂	- 73% de DCO
		+ ozonation	- 78% de DCO
		+ ozonation + stripping ammonium	- 48% de DCO - 100% de NH ₄
		+ nanofiltration	- 80% de DCO
		+ photo oxydation (UV)	- 64% de DCO
Osmose inverse	96 % de DCO	+ boue active	- 99% de DCO
		+ UASB	- 99% de DCO
		+ évaporation	- 88% de DCO
Nanofiltration	>65% de DCO	+ coagulation	- 80% de DCO
		+ adsorption sur charbon actif	- 97% de DCO
		+ adsorption sur charbon actif	- 99% de DCO
		+ozonation	
Ultrafiltration		+ adsorption	- 97% de DCO
Adsorption sur charbon actif		+ nitrification	- 55% de DCO - 93% de NH ₄ ⁺
		+ BRM	- 65% de DCO
		+ précipitation (chaux) + traitement aérobie	- 92% de DCO
Ozonation		+ adsorption	- 90% de DCO

III-4-7 Bioréacteur à membranes (BRM) [25]

C'est une technique de pointe qui associe étroitement un réacteur biologique à des membranes de microfiltration ou d'ultrafiltration. Les membranes ont un rôle de barrière physique absolu et remplace le clarificateur dans la chaîne de traitement classique. L'installation est de petite dimension. Ce système permet de traiter le quasi totalité de la DBO₅, jusqu'à 80 % de la DCO, 95 % de l'azote ammoniacal et la totalité des micro-organismes. Restent les métaux et les sels Les points forts du BRM sont les suivants :

- ✓ Possibilité de travailler avec des concentrations importantes en biomasse dans le bioréacteur assurant des rendements accrus et une compacité des ouvrages.
- ✓ Haut niveau d'automatisation assurant une fiabilité et une facilité de fonctionnement.
- ✓ Qualité de l'eau traitée constante quelles que soient les variations de la charge. Le Tableau III.9 illustre les avantages et les inconvénients des différents procédés de traitement des lixiviats

Tableau III.11 : Avantages et inconvénients des différents procédés [23].

	Procédés	Avantages	Inconvénients	Sous-produits
Procédés biologiques	Lagunage aéré	Elimination de la DBO ₅ et de l'azote.	Dénitrification difficile, encombrement important.	Boues biologiques en excès.
	Boues activées	Elimination de la DBO ₅ et de l'azote global.	Consommation énergétique pour l'apport de l'oxygène.	Boues biologiques en excès.
	Bioréacteur à membranes	Elimination de la DBO ₅ , azote, DCO résiduelle, MES, bactéries, virus. Faible encombrement.	Consommation énergétique.	Boues biologiques en excès.
	Cultures fixée	Elimination de la DBO ₅ et de l'azote. Faible consommation énergétique.	Faible rendement épuratoire.	
Procédés physico-chimiques	Coagulation-floculation	Débit de traitement. Réduction de 40 à 50 % de la DCO dure. Agglomération des MES.	Production importante de boues (20 % du volume traité).	Boues
	Précipitation	Précipitation des métaux, diminution des MES, élimination d'une partie de la matière organique.	Production de boues d'hydroxydes métalliques.	Boues
	Filtration sur charbon actif	Elimination de la DCO résiduelle, réduction des organo-halogénés et de la couleur.	Renouvellement des absorbeurs.	
	Ozonation (H ₂ O ₂ ET/OU UV)	Elimination de la DCO, décoloration et augmentation du caractère biodégradable.	Sensibles aux variations de charges. Consommation énergétique.	
Procédés thermiques	Evaporateur	Concentration maximale de la pollution. Utilisation de biogaz.	Dissipation partielle à l'atmosphère. Dépend de la qualité et de la quantité du biogaz.	Concentrat
	Evapocondensateur	Concentration maximale de la pollution et condensation des vapeurs. Utilisation du biogaz.	Dépend de la qualité et de la quantité du biogaz.	Concentrat.
	Sécheur isoflash	Elimination de la charge polluante du lixiviat. Utilisation du biogaz.	Consommation énergétique.	Extrait sec pulvérulent.
Procédés membranaires	Nanofiltration	Rétention de la DCO dure, des sels et des métaux.	Coût parfois très élevé. Dépendance à un « tiers traiteur ».	Rétentats de nanofiltration.
	Osmose inverse	Rétention de la DCO dure, des sels, des métaux et des nitrates.		Rétentats d'osmose (saumures).
Autre	Traitement en station d'épuration externe	Pas d'investissement sur site.		

Partie II: Partie Expérimentale

Cette deuxième partie permet de définir les méthodes, matériels et procédures utilisés lors de cette étude. Un premier chapitre nous décrit les modes de prélèvement et de caractérisation, ainsi que la mesure de différents paramètres et les procédures sélectionnés pour le traitement des lixiviats jeunes générés par le C.E.T d'Ouled Fayet. Le deuxième chapitre « Résultats et interprétation », expose et interprète les résultats obtenus.

IV. Matériels, Méthodes et Procédés

IV-1- Site de prélèvement

Pour notre étude nous avons retenu un point de prélèvements P (figure IV.1), ce point se situe à la sortie du système de drainage du casier N°5.

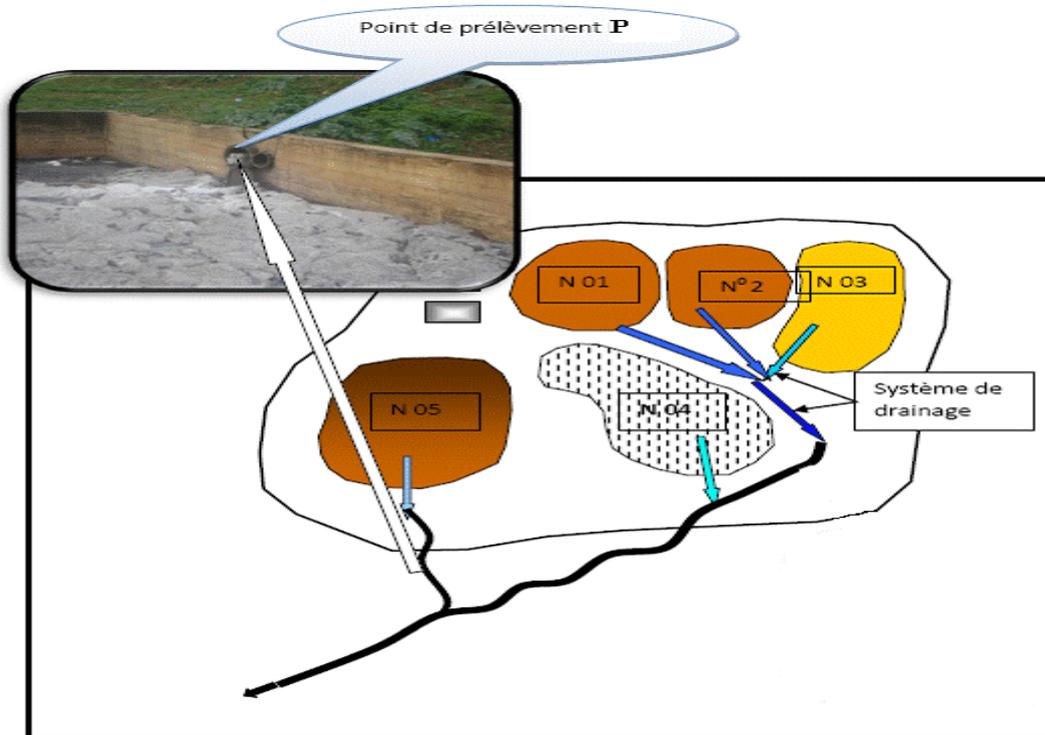


Figure IV.1 : Schéma représentant la décharge et le point de prélèvement du lixiviat jeune « P »

IV-2- Campagnes de prélèvements :

La caractérisation des lixiviats du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet a porté sur une campagne de prélèvement : allant du 29-05-2009 au 17-05-2009. Cette campagne de prélèvement correspond à une période printanière à faible pluviométrie et on ne s'attend pas à une dilution importante par les eaux de pluie. Les caractéristiques des journées de prélèvement sont résumées dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : Les caractéristiques des journées de prélèvement

N° de l'échantillon	Date de prélèvement	Pluviométrie
1	29/04/2009	Forte
2	08/05/2009	Faible
3	11/05/2009	Faible
4	17/05/2009	Faible

IV-3-Procédés expérimentales :

IV-3-1- Caractérisation des lixiviats :

IV.3-1-a) Caractérisation quantitative :

Les mesures de débit sont effectuées plusieurs fois dans la journée et durant toute la durée de l'étude en mesurant des volumes écoulés pendant un certain temps. Les volumes sont déterminés par un récipient de capacité connue.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Avec Q : Débit de lixiviat en l/s, V : Volume recueilli en Litre pendant le temps t en seconde.

IV-3-1-b) Caractérisation qualitative :

Dans cette partie, nous nous sommes attachés à la caractérisation des lixiviats à travers les paramètres globaux (T° , pH, conductivité, MES, MVS, MMS, DCO, DBO₅, DCO/DBO₅, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, NTK, et métaux lourds (Fe, Zn, Pb, Ni, Cu et Hg).

Méthodes d'analyses :

Les principes des méthodes d'analyses ainsi que leurs références sont résumés dans le tableau ci-dessous, les détails de ces méthodes sont portés en annexe I.

Tableau IV.2 : Principe et références des méthodes d'analyse

Paramètres	Principe de la méthode	Référence de la méthode
pH	pH-métrie	NFT 90-008
Température	Thermométrie	-
Conductivité	Conductivé-métrie	-
DCO	Bichromate de potassium	ISO 6060-1989
DBO5	Manométrique (DBO mètre)	-
NH ₄ ⁺	Colorimétrique	ISO 7150/1-1984
NO ₃ ⁻	Colorimétrique	ISO 7890-3-1988
NO ₂ ⁻	Colorimétrique	ISO 6777-1984
PO ₄ ³⁻	Colorimétrique	ISO 6878/1-1986
SO ₄ ²⁻	Colorimétrique	
NTK	Minéralisation, Distillation, Titration	NF EN 25663
MES	Filtration et séchage à 105°C	NFT 90-015
MVS	Calcination à 560 °C	-
Métaux lourds	Spectrophotométrie d'adsorption atomique	

IV-3-2 Traitement des lixiviat jeunes

IV-3-2-a) Traitement par procédé de boue activée :

Pour ce traitement, des béchers de 1l, ont été utilisés comme réacteur biologique. Le bon mélange du lixiviat à traiter, et les boues activées, est assuré d'une part par un agitateur magnétique à une vitesse de 250 tours/min, et d'autre part par l'injecteur d'air de marque « CHAMPION CX-0088 », qui assure au même temps l'apport d'air nécessaire à un débit de 44 ml d'air/min (figure IV.2).

L'essai a été conduit à une température ambiante au voisinage de 28 °C. La carence en phosphore est satisfaite par l'ajout de KH_2PO_4 , en respectant le rapport $\text{DCO/P} < 150$ [6].

Pour cela nous avons ajouté 0.800 g de KH_2PO_4 à 800 ml de lixiviat à traiter. Notons que les boues activées ont été ramenées de la STEP de Ain Benian (bactéries adaptés à la biodégradation d'effluent domestiques), ces dernières se caractérisent par des : $\text{MES} = 2,02$ (g/l) et $\text{MVS} = 52\%$.

Afin de maintenir en vie ces boues, nous les avons soumis à une agitation permanente.



Figure IV.2 : l'installation de traitement biologique

IV-3-2-b) Traitement par procédé d'oxydation avancée « Fenton » :

Notre expérience a été menée sur un jar-test de 6 béchers de marque « AQUA LYTIC AL 46-6 », en suivant les étapes ci-après :

- Ajustement du pH de 800 ml de lixiviat à 3 en ajoutant de l'acide sulfurique pur.
- Mise en agitation de l'effluent à 300 tours/min.
- Ajout d'un volume approprié de H_2O_2 à 30% de pureté et de 1.11 de densité.
- Le dosage de Fe^{+2} a été effectué par l'addition de la quantité nécessaire de FeSO_4 solide.

L'agitation se poursuit pendant 2 heures et après 45 min de décantation, le surnageant est prélevé pour analyse (figure IV.3).



Figure IV.3 l'optimisation des paramètres de procédé Fenton

V. Résultats et interprétation

Nous nous attacherons dans ce chapitre, à caractériser les lixiviats du CET d'Ouled Fayet à travers la détermination des paramètres globaux (T° , pH, conductivité, MES, MVS, MMS, DCO, DBO₅, DCO/DBO₅, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, NTK, et métaux lourds (Fe, Zn, Pb, Ni, Cu et Hg)).

V-1- Caractérisation du lixiviat jeune :

Les résultats de caractérisation de nos quatre échantillons sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau V.1 : Caractérisation des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet « point de prélèvement P »

Paramètres	Jours de prélèvement				Valeur moyenne	Les normes [46]
	29/04/09	08/05/09	11/05/09	17/05/09		
pH	7,2	7,9	7,9	8,1	7,7	6,5-8,5
Débit (l/s)	2,52	0,95	0,665	0,64	1,19	—
Odeur	Nauséab onde	Nauséab onde	Nauséab onde	Nauséab onde	Nauséab onde	—
Conductivité (ms/cm)	22,4	-	-	27,5	24,95	—
P redox (mv)	-19,1	-	-	-60,5	-39,8	
Température du lixiviat °C	24	25	29	26	26	30
T° ambiante °C	22	28	34	32	29	—
DCO (mg O ₂ /l)	33066,66	31133,33	29000	28566,66	30449	120
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	13650	8100	8000	10250	10000	35
DBO ₅ /DCO	0,41	0,26	0,27	0,36	0,32	—
NO ₃ ⁻ (mg/l)	96,89	73,76	139,77	164,31	118,68	—
NO ₂ ⁻ (mg/l)	91,53	31,33	35,24	30,12	47,05	—
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	179,88	96,011	107,99	92,30	118,34	10
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	48,70	111,80	57,96	35,74	63,55	—
NH ₄ ⁺ (mg/l)	30000	45882,35	31617,64	53676,47	40294,11	20
NTK (mg/l)	48440	51370,9	34467	59951	48557	30
Cl ⁻ (mg/l)	4615	3905	3991	4260	4171,25	—
MES (g/l)	1,345	1,984	2,334	1,673	1,835	35
MVS %	51,11	46,78	57,99	52,54	52,10	—
Fe (mg/l)	97,1	/	/	/	97,1	3
Zn (mg/l)	2,9	/	/	/	2,9	3
Cu (mg/l)	2,5	/	/	/	2,5	0,5
Pb (mg/l)	ND	/	/	/	ND	0,5
Ni (mg/l)	2,2	/	/	/	2,2	0,5
Hg (mg/l)	ND	/	/	/	ND	0,05

V-2-Interprétation :

✓ La couleur :

Les lixiviats étudiés arboraient une couleur noire foncé pour les lixiviats, ceci doit être dû essentiellement aux MES et à la présence des ions de sulfure dont le pouvoir colorant est élevé.

✓ L'odeur :

Les lixiviats du site P dégagent une odeur nauséabonde, très prononcée.

✓ Le pH :

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. La valeur moyenne trouvée du pH est de 7.7, ce pH légèrement basique indique la présence d'acide volatils en traversant la phase d'acidogénèse (le lixiviat provient d'enfouissement de déchets frais). Selon la norme, la valeur du pH doit être comprise entre 6,5 et 8,5 dans tous les cas de rejets en milieu naturel. Ces lessivats sont conformes à la norme de rejet.

✓ Conductivité électrique :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Nous avons abouti à des valeurs très élevées dues à la concentration élevée en sels dissous et à la quantité des substances minérales dans ces lixiviats. La valeur moyenne étant de 24,95 ms/cm .La réglementation sur les rejets en stations d'épurations ou milieu naturel ne prévoit pas de limite pour ce paramètre.

✓ La Température :

Le lixiviat jeune présente une température moyenne élevée de 26 °C dû aux réactions exothermiques du réacteur. Cette température favorise le développement de la flore mésophile et reste inférieure à la norme de rejet qui est de 30 °C.

✓ Le potentiel redox :

Le potentiel redox quantifie les réactions d'oxydation et de réduction qui correspondent au transferts d'électron entre des composés chimiques présents dans un milieu .Le donneur d'électrons s'oxyde alors que le récepteur est réduit. ,la mesure de ce potentiel dans une eau usée ou dans un bassin de traitement donne un potentiel global , de l'ordre de quelques dizaines de mv, qui est la résultante de l'ensemble des réactions d'oxydoréduction de ce milieu. Des valeurs positives témoignent d'un milieu globalement

oxydant et des valeurs négatives d'un milieu réducteur. Les lixiviats étudiés avec un potentiel avoisinant les -40 mv témoigne d'un milieu fortement réducteur.

✓ **Demande chimique en oxygène (DCO) :**

La DCO exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique biodégradable ou non d'une eau à l'aide d'un oxydant fort, le bichromate de potassium sous des conditions données [19]. La DCO atteint une valeur de 30449 mg/l dépassant 150 fois la valeur limite de rejet.

✓ **Demande biochimique en oxygène (DBO₅) :**

La DBO exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau, par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 jours à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air [19]. Si le rapport DBO₅/DCO n'est pas constant, l'évolution de la DBO₅ moyenne suit souvent celle de la DCO. Cette importante charge organique est spécifique pour les lixiviats de décharge. La moyenne de valeurs obtenues au point P est de 10000 mg d'O₂/l. Nous remarquons que cette valeur est élevée par rapport à la norme qui est de 35 mg/l pour le rejet dans un milieu naturel. Ces teneurs indiquent la présence d'une concentration importante en matière organique biodégradable.

✓ **Le rapport DBO₅/DCO :**

Le rapport DBO₅/DCO qui évolue dans le temps indique le caractère organique d'un milieu, et son degré de biodégradabilité, il donne des informations sur l'âge de la décharge, c'est-à-dire la nature des transformations biochimiques qui y règnent. La valeur moyenne de ce rapport est de 0.32 au point P.

✓ **Les nitrates et nitrites (NO₃⁻, NO₂⁻) :**

La moyenne de concentrations mesurées pour les nitrates est de 118,68mg/l et, celle de nitrites est de 47,05mg/l. On peut dire que le processus de dénitrification à commencé.

✓ **Les orthophosphates (PO₄³⁻) :**

Le phosphore est présent dans les lixiviats sous différentes formes : Phosphore organique : comme les phospholipides, les phosphoprotéines. Phosphore minéral : dérivé de l'acide phosphorique comme les orthophosphates (PO₄³⁻, H₂PO₄⁻ et H₂PO₄²⁻). L'ensemble des formes organiques et minérales constitue le phosphore total. Les phosphates correspondent en fait aux orthophosphates car l'ion phosphate, n'existe en solution que pour des pH basiques. La présence de phosphore dans les eaux entraîne un développement important des algues microscopiques et macroscopiques. Le résultat moyen obtenu en orthophosphates aux points P du CET d'Ouled Fayet pour les différents prélèvements est 118, 34mg/l. Nous remarquons que cette valeur est très élevée par rapport à la norme de rejet qui est de 10 mg/l.

✓ **Les sulfates (SO₄²⁻)**

Les lixiviats véhiculent des concentrations élevées en sulfates.

✓ **L'azote ammoniacal (NH_4^+) :**

Les autres formes de pollution qu'on relève dans les lixiviats étudiés sont celles liées à leur richesse en azote. La valeur moyenne obtenue au point P est de 40294,11 mg/l, celle-ci est très élevée à la norme de rejet qui est de 20 mg/l.

✓ **L'Azote Kjeldahl (NKT) :**

Cette analyse permet de mesurer simultanément l'azote organique et l'azote ammoniacal représenté par l'azote Kjeldahl noté NTK = N organique + N ammoniacal. De même, lorsque l'on mesure toutes les formes d'azote (mis à part l'azote gazeux) on obtient l'azote globale, noté NGL : NGL = Norganique + Nammoniacal + Nnitrite + Nnitrates. Ces deux paramètres sont utilisés par la réglementation pour fixer les limites de rejet de l'azote dans le milieu naturel. La concentration moyenne en azote Kjeldahl au point P est de 48557mg/l.

✓ **Chlorure (Cl^-) :**

Ce percolât jeune véhicule de fortes teneurs en chlorures, elles atteignent les 46000 mg/l.

✓ **Matière en suspension (MES) :**

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus [17].

En générale, la turbidité de l'eau est causée par des particules de matière inorganique (particules de glaise et d'argile) alors que sa couleur est imputable à des particules de matière organique et d'hydroxyde de métal (le Fer par exemple) [19]. Les lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet sont très chargés en MES, la concentration moyenne en MES au point P est de 1835 mg/l, cette valeur est très élevée par rapport à la norme de rejet qui est de 35 mg/l.

✓ **Matière volatile sèche (MVS) :**

On entend par matières volatiles sèches la partie des matières en suspension susceptibles d'être volatilisées à 565° C. Les MVS sont généralement assimilées aux matières organiques en suspension. La valeur obtenue atteint 52,10 % pour le point de prélèvement P.

✓ **Les métaux lourds :**

L'étude de la pollution métallique montre que la teneur en fer est élevée. Le Nickel, le Zinc et le Cuivre sont à l'état de trace. Le plomb et le Mercure n'ont pas été détectés.

✓ **Conclusion :**

En effet, le lixiviat au niveau du point P présente :

- ✓ Un pH légèrement basique de l'ordre de 7,7.
- ✓ Une charge organique avec une DCO de valeur moyenne de 30.04 g d'O₂/l
- ✓ Une Forte biodégradabilité de l'ordre DBO₅ / DCO = 0.32.

En ce point on a une activité biologique qui correspond à la phase acide de dégradation anaérobie, avec une charge organique facilement biodégradable, donc nous sommes dans le cas de lixiviat jeune.

Les valeurs caractéristiques des paramètres physico-chimiques pour le lixiviat examiné, montrent que le lixiviat est jeune .ainsi un traitement biologique est fortement recommandé pour ce type de lixiviat.

V-3-Traitement du lixiviat jeune :

Pour un lixiviat jeune, un traitement biologique est fortement recommandé. Pour l'élimination de la fraction biodégradable résiduelle récalcitrante un procédé physico-chimique combiné peut être efficace.

Cependant afin d'atteindre une efficacité de traitement satisfaisante, nous nous sommes décidés d'appliquer un traitement combiné boue activée/ oxydation-Fenton.

V-3-1 Traitement par les boues activées

V-3-1-a) Influence des quantités des boues activées ajoutées sur le traitement du lixiviat

Afin d'examiner l'efficacité d'addition de quantités variables des boues activées sur l'efficacité de traitement, nous avons, à chaque fois, ajouté 25, 50, 75, et 100 ml de la liqueur mixte provenant d'une station d'épuration des eaux usées urbaine, à 800 ml de lixiviat.

Ces expériences ont été réalisées parallèlement à un essai témoin sans addition de boue.

Les résultats les résultats de cet essai sont présentés au tableau suivant :

Tableau V.2 : évolution de la DCO mg d'O₂/l en fonction de temps

Volume de Boue Temps	0 ml de boue Activée	25ml de boue activée	50ml de boue activée	75ml de boue Activée	100ml de boue activée
30 min	32966.66	31460	30916	31130	31620
1H	30766.66	28740	29140	21416.66	28416
1H30	29363.33	24213.33	255733.33	24940	23226
2H	30236.66	23266.66	1933.33	22813	21940
2H30	26950	24173.33	17600	18266.66	19430
3H	24240	16600	16266	16933.33	15133.33
3H30	25850	19315.66	19740	18540	16333.33
4H	25136.66	20515	18312	19130	17315
12H	26766.66	19870	18166.66	17842	19540
12H30	25933.33	27666.66	19933.33	20146.66	20845
13H	27130	21850	19870	191333	19933.33

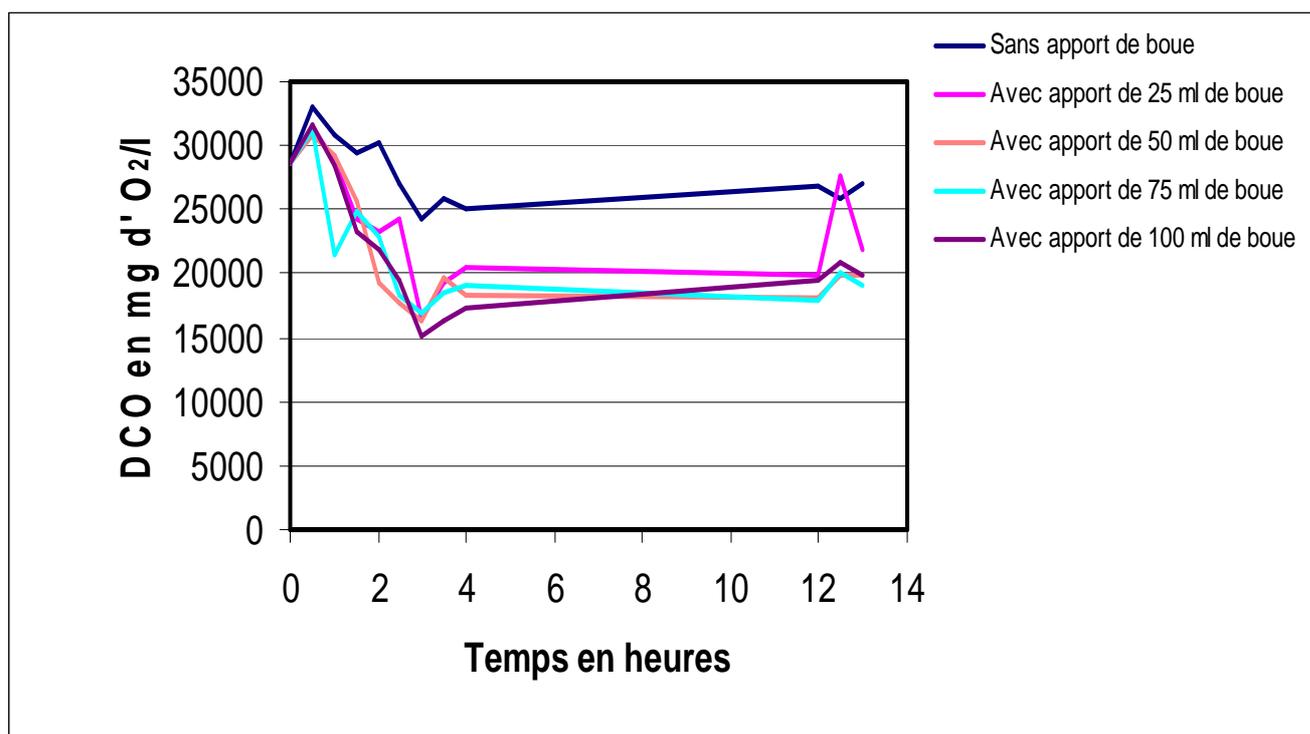


Figure V.1 : Cinétique de biodégradation et effets des différentes quantités de boue

❖ **Interprétation des résultats :**

- L'ajout de boue activée, accélère, la cinétique d'épuration
- L'ajout de la boue activée + KH_2PO_4 provoque, dans un premier temps, une augmentation de la DCO, rapidement compensée par l'amélioration provoquée par cet apport.
-
- Une décroissance rapide de la DCO pour les béciers de 25, 50, 75 et 100 ml de boue activée, . Une décroissance légère pour le bécier sans apport de boues.
- L'activité bactérienne tend à se stabiliser après 3 h 30
- Le volume optimal de boue retenu pour le traitement des lixiviats est de 50 ml.

V-3-1-b) Eude à l'échelle laboratoire du recyclage de la boue :

pour étudier l'efficacité sur l'adaptation des microorganismes au lixiviat, nous avons mené des séries d'expérience avec recyclage de boue :

E1= Lixiviat (V= 800 ml)

Boue activée (v= 50 ml)

Temps = 3h 30

E2= La boue récupérée de **E1** (50 ml) + Lixiviat (V= 800 ml)

(Premier recyclage)

Temps = 3h 30

E3= La boue récupérée de **E2** (50 ml) + Lixiviat (V= 800 ml)

(Deuxième recyclage)

Temps = 3h 30

Figure V.2 : Schéma de recyclage de boues

Les résultats de ces essais sont présentés par le tableau Tableau IV.5.

Tableau V.3 : évolution de la DCO avec recyclage des boues

Bechers	DCO après traitement	Abattement %
E1	16133.33	46.22 %
E2	15140	49.53 %
E3	14936	50.21 %

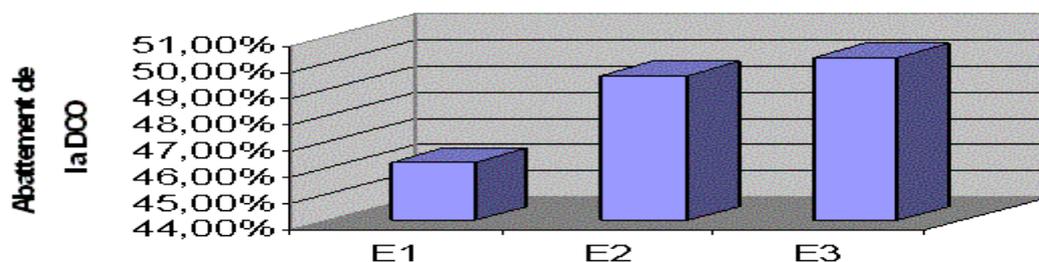


Figure V.3 : Effets du recyclage des boues sur l'efficacité de traitement

Nous constatons que le rendement épuratoire s'améliore avec la recirculation des boues.

V-3-2 Traitement par Fenton oxydation ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$):

V-3-2-a) Optimisation du rapport Molaire $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{+2}]$

En se référant au procédé Fenton, il est bien connu qu'un excès de peroxyde d'hydrogène par rapport au substrat a comme conséquence une dégradation plus étendue du substrat, alors que des concentrations plus élevées des ions ferreux rapportent des vitesses plus rapides. Cependant, afin de maximiser l'efficacité de ce traitement, il est préalablement nécessaire de déterminer le rapport optimal $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{+2}]$.

Dans 6 béchers, contenant un demi (1/2) litre de lixiviats bruts, on ajoute la même dose de H_2O_2 , en respectant le rapport $[\text{H}_2\text{O}_2]/\text{DCO} = 0.625-5$ [40], et on fait varier les concentrations de Fe^{+2} de façon à essayer les rapports Molaires $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{+2}]$ de 10, 15, 20, 25, 30 et 35 [45], l'expérience s'effectue à un pH initial de 3.5.

Après 45 Min de décantation, le surnageant est prélevé pour analyses, les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.4 : Optimisation du rapport $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{+2}]$.

Becher	$[\text{H}_2\text{O}_2]$ (g/l)	Volume de H_2O_2 (ml)	Masse FeSO_4 (g)	pH	DCO mg/l de O_2	R %
1	0.705	36 ml	5.34	3.5	27966.66	6.78
2	0.705	36 ml	3.55	3.5	23966.66	20.11
3	0.705	36 ml	2.67	3.5	22700	24.3
4	0.705	36 ml	2.14	3.5	25320	15.66
5	0.705	36 ml	1.78	3.5	25200	16
6	0.705	36 ml	1.52	3.5	24700	17.6

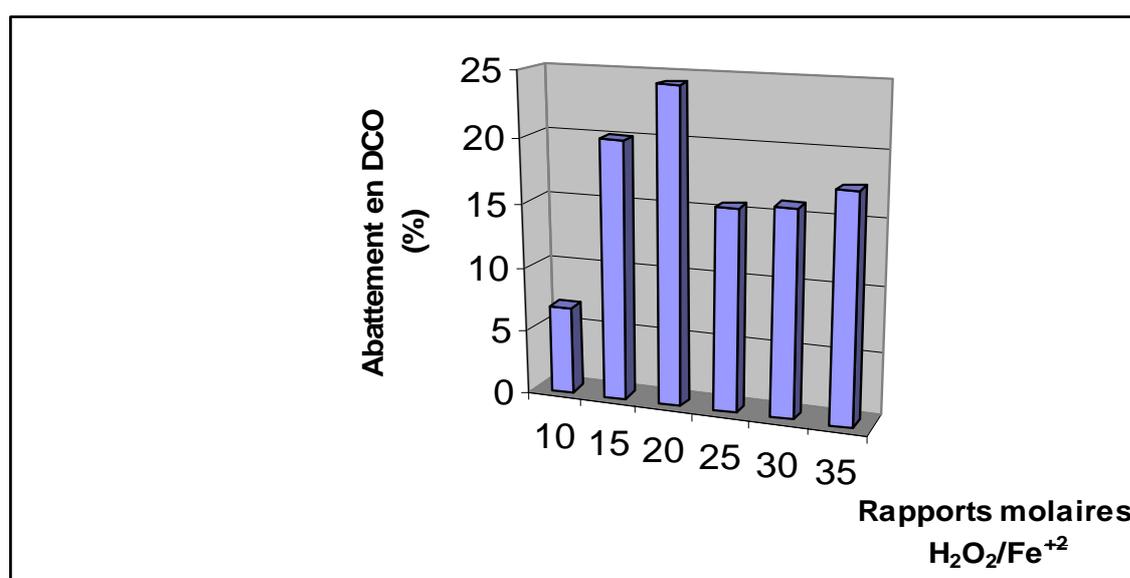


Figure V.4 : Optimisation du rapport Molaire $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{+2}]$

Le rendement épuratoire maximal a été obtenu pour un rapport de 20 que l'on retient comme optimum.

V-3-2-b) Optimisation des doses de H₂O₂ et Fe⁺²

En maintenant constant le rapport [H₂O₂]/ [Fe⁺²], la concentration en état d'équilibre des radicaux d'hydroxyle dépend des quantités absolues H₂O₂ et de Fe⁺². Par conséquent, afin d'évaluer la relation entre l'élimination de la DCO et les concentrations en H₂O₂ et Fe⁺², nous avons fixé le rapport à la valeur de 10 et on a varié les doses de H₂O₂ et Fe⁺² correspondantes.

Toujours avec le même dispositif expérimental, le pH préalablement fixé à 3, après décantation, et analyses du surnageant nous aboutissons aux résultats résumés dans le tableau

Tableau V.5 : Optimisation des doses de H₂O₂ et Fe⁺²

Bécher	[H ₂ O ₂] (mg/l)	Volume de H ₂ O ₂ (ml)	Masse FeSO ₄ (g)	pH	DCO mg/l de O ₂	R %
1	9500	14.3 ml	2.12	3	28900	3.66
2	15000	22.5 ml	3.31	3	23700	21
3	30000	45 ml	7.11	3	27450	8.5
4	45000	67.5 ml	9.94	3	29300	2.3

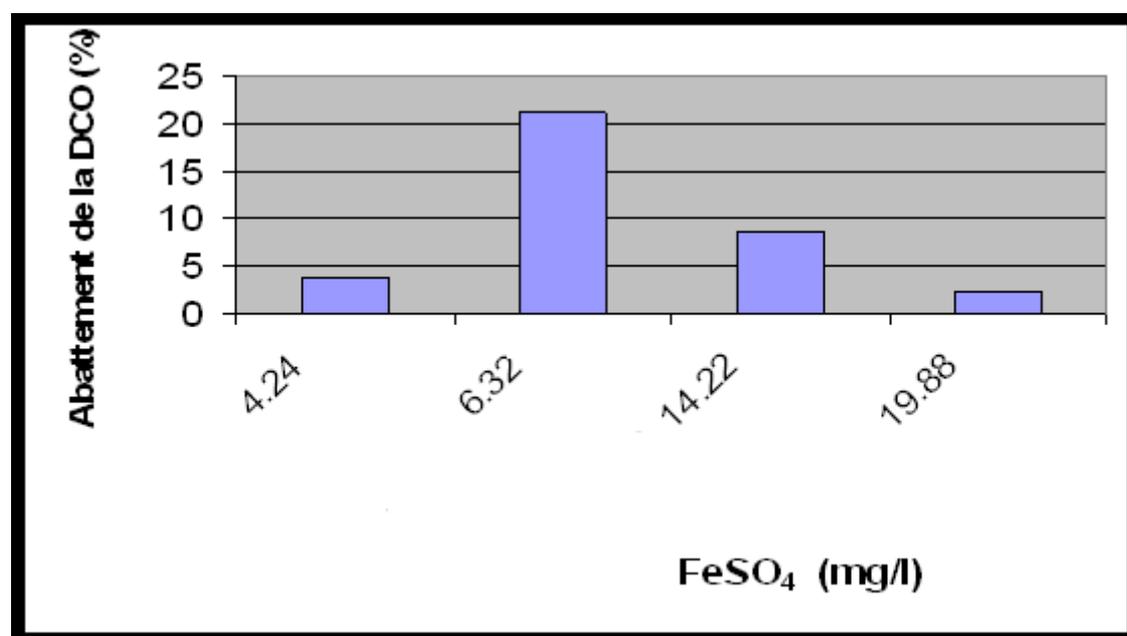


Figure V.5 : Optimisation des doses de H₂O₂ et Fe⁺²

Une meilleure efficacité de traitement a été obtenue avec 30 g/l de H₂O₂ et 3.31 g/l de FeSO₄

II. 3-2-c) Optimisation du pH :

Afin d'optimiser le pH de la réaction Fenton, nous avons varié le pH du lixiviat dans la zone acide (2 à 4,5)

Les résultats sont illustrés par le tableau ci-dessous.

Tableau V.6 : Optimisation du pH

Becher	(H ₂ O ₂)mg/l	Volume de H ₂ O ₂ (ml)	Masse FeSO ₄ (g)	pH	DCO mg/l de O ₂	R %
1	15000	22.5 ml	3.31	2	25700	14.33
2	15000	22.5 ml	3.31	2.5	29700	1
3	15000	22.5 ml	3.31	3	27700	7.66
4	15000	22.5 ml	3.31	3.5	20700	31
5	15000	22.5 ml	3.31	4	26450	11.8
6	15000	22.5 ml	3.31	4.5	29350	2.16

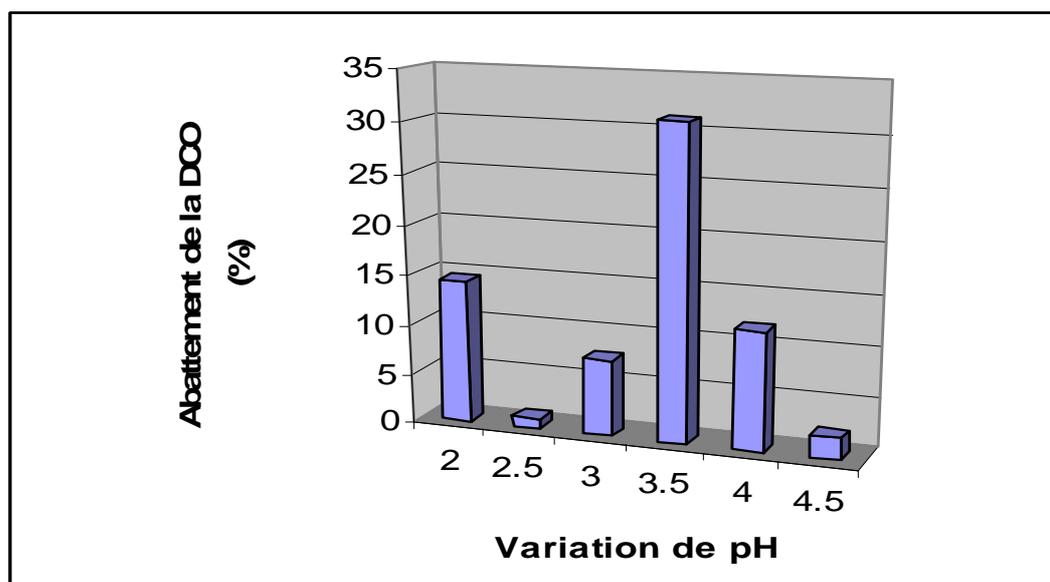


Figure V.6 : optimisation du pH

Avec cet essai nous avons atteint les 30% d'élimination de la DCO avec un pH de 3.5 ce qui correspond à un gain au niveau de la quantité d'acide à ajouter pour ajustement du pH.

V-3-2-d) Optimisation du temps :

Pour cela, nous avons fixé les paramètres optimaux trouvés précédemment et nous avons varié le temps de réaction comme le montre le tableau IV.9

Tableau V.7 : Optimisation du temps

Becher	[H ₂ O ₂] mg/l	Volume de H ₂ O ₂ (ml)	Masse FeSO ₄ (g)	Temps (min)	DCO mg/l de O ₂	R %
1	15000	22.5 ml	3.31	30	21833.33	27.22
2	15000	22.5 ml	3.31	45	20133.33	32.28
3	15000	22.5 ml	3.31	60	19320	35.6
4	15000	22.5 ml	3.31	90	19100	36.33
5	15000	22.5 ml	3.31	120	19333.33	35.33
6	15000	22.5 ml	3.31	150	19533.33	34.89

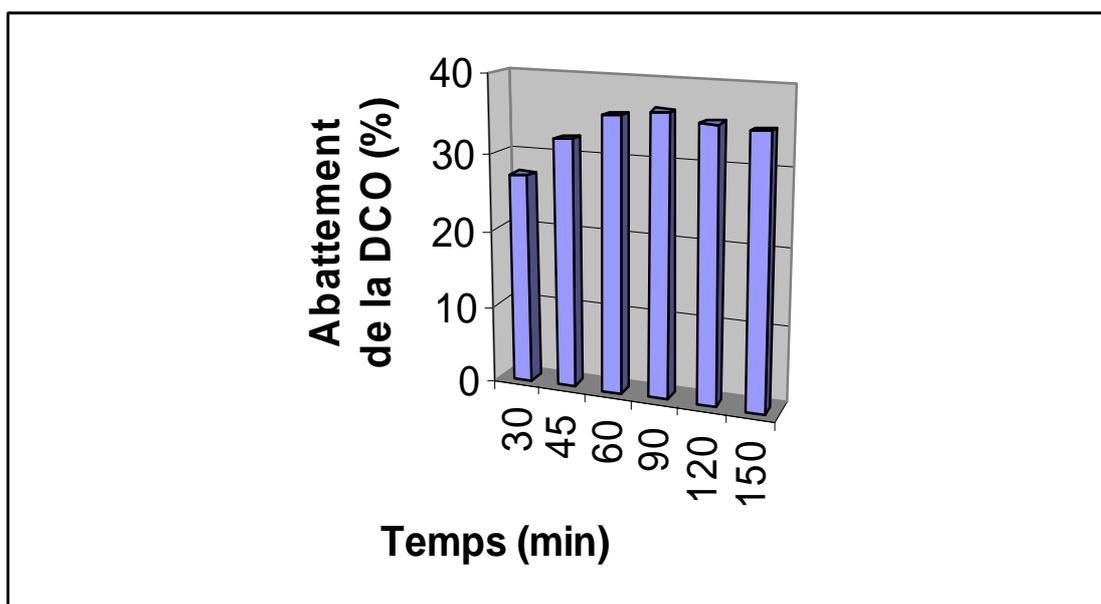


Figure V.7 : effet du temps sur la réaction Fenton

Nous constatons que les meilleurs rendements se manifestent à partir de 60 min, temps à partir duquel il n'y a pas d'effet supplémentaire sur le rendement épuratoire.

V-3-3 Traitement des lixiviats par combinaison de boue activée et l'oxydation Fenton :

II. 3-3-a) Traitement des lixiviats jeunes par boues activée suivi de l'oxydation Fenton

Après la détermination des conditions optimales du traitement par boues activées, nous avons soumis un lixiviat préalablement traité par cette voie à l'oxydation Fenton. Le rendement épuratoire a augmenté jusqu'à 62,90 %.

II. 3-3-b) Caractéristiques des lixiviats traités

Après la réalisation de traitement combiné, on a mesuré les différents paramètres après traitement. Les résultats sont présentés par le tableau ci-dessous.

Tableau V.8 : Caractérisation des lixiviats jeune avant et après les différents traitements

Paramètres	Avant traitement	Après traitement biologique	Après l'oxydation Fenton	Après le traitement combiné
pH	7.7	6.8	3.82	5.7
Conductivité (ms/cm)	22.4	56.8	72.1	33.2
P redox (mv)	-39.8	-78.8	12.3	22.4
Température (°C)	26	/	/	/
DCO (mg/l)	30449	16266	19100	11300
DBO₅ (mg/l)	10000	1000	264	205
DBO₅/DCO	0.32	0.061	0.0138	0.018
PO₄³⁻ (mg/l)	118.34	148.22	66.58	68.31
SO₄²⁻ (mg/l)	63.55	35.44	/	450.74
NO₃⁻ (mg/l)	118.68	29.33	52.8	23.74
NO₂⁻ (mg/l)	47.05	89.23	15.23	9.00
NH₄⁺ (mg/l)	40294.11	12335.29	13498.52	10176.47
NTK (mg/l)	385574	/	/	/
Cl⁻ (mg/l)	4171.25	2358.34	3669.5	1973.71
MES (mg/l)	1.835	/	/	0.789
MVS %	52,10	/	/	—

**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GENERALE

L'enfouissement des déchets en Algérie demeure une filière d'élimination très économique dans la gestion globale des déchets, mais il n'a pas été jusqu'à présent pratiqué en appréhendant tous les problèmes qu'il pouvait engendrer. Le centre d'enfouissement technique est resté un moyen simple pour se débarrasser de déchets urbains encombrants des rues et des quartiers.

Les casiers des centres de stockage doivent être considérés comme des réacteurs ouverts dont on doit maîtriser au mieux les entrées (déchets, eaux), les sorties (lixiviat, biogaz, envois), les mécanismes réactionnels (évolution du massif de déchets) et les impacts sur l'environnement : eaux (eaux de surface et souterraines), sols (migration des polluants organiques et minéraux), air (émission des gaz à effet de serre), écosystème naturel et humain.

La conception et l'exploitation du centre de stockage de déchets doivent permettre une maîtrise de la production du lixiviat, du biogaz, et une limitation des nuisances : envois, odeurs, incendies, explosions, bruit, pollution des sols, des eaux, effet de serre et risques sanitaires en tenant compte des contraintes techniques, économiques, etc.

Notre étude a porté sur la caractérisation et le traitement du lixiviat jeune (casier N° 5) au niveau du C.E.T d'Ouled Fayet.

La caractérisation a montré que le lixiviat véhicule une très forte charge organique et minérale. Les résultats d'analyse des différents paramètres de pollution analysés dépassent largement les normes de rejet dans un milieu récepteur, d'où la nécessité de traiter et de diminuer au maximum tous les polluants, ce qui ne pourrait être obtenu que par une combinaison de procédés de traitement.

Le lixiviat jeune de C.E.T peut être traité par voie biologique et les rendements pour l'abattement de la DCO ont été dans certains cas très élevés. Le traitement de ce lixiviat par la boue activée a donné un abattement de DCO de 46 %.

D'autre part, les procédés d'oxydation avancés donnent des bons abattements de la DCO. Le procédé d'oxydation Fenton nous a donné un abattement de 35 %.

En combinant les deux traitements : Boue activée – oxydation Fenton, on constate une nette diminution de la pollution, et un abattement final de la DCO de 62,90 % pour le lixiviat jeune.

Cependant, cette combinaison de traitements a abouti à des valeurs supérieures à la norme de rejet dans un milieu récepteur, 11300 mg/l de la DCO pour le lixiviat traité, comparant avec la norme qui est de 120 mg/l, d'où un recyclage de lixiviat pour un traitement secondaire est nécessaire.

Le traitement combiné boues activées-Fenton a amélioré considérablement le rendement épuratoire, néanmoins les caractéristiques du lixiviat traité restent insuffisantes pour répondre aux exigences des normes de rejet dans un milieu récepteur. Une meilleure optimisation des paramètres des traitements utilisés doit être envisagée ainsi qu'un traitement tertiaire tel que l'adsorption sur charbon actif.

Au vu de ces considérations, les lixiviats doivent être traités comme des substances extrêmement dangereuses, il est nécessaire d'en organiser la collecte et le traitement afin de limiter au maximum les conséquences sur l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Agence Nationale des Déchets (AND – ALGERIE), 2004.
- [2] Ministère de l'aménagement du territoire, de l'Environnement et du Tourisme (MATET), Rapport 2003 (DOUNIA).
- [3] Ministère de l'aménagement du territoire, de l'Environnement et du Tourisme (MATET), Le guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagers et assimilés, 2008
- [4] Martin Pépin AINA : Expertises des centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les ped : contributions a l'elaboration d'un guide methodologique et a sa validation experimentale sur sites, Thèse de doctorat, UNIVERSITE DE LIMOGES, septembre 2006.
- [6] Ministère de l'aménagement du territoire, de l'Environnement et du Tourisme (MATET - ALGERIE), 2008.
- [7] MEZOUARI F : Les décharges publiques du grand Alger et l'utilisation des matériaux géosynthétiques comme barrière d'étanchéité : Cas de la décharge d'Ouled Fayet. Mémoire de Magister en Urbanisme, 2002.
- [8] Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets (France). « Elimination des déchets industriels ». ed. CORYPHE, 2008.
- [9] HAMOURI.K et DJEMAA.R : Evaluation de la pollution des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet et proposition d'un traitement. Projet de fin d'étude, USTHB, 2006.
- [10] Association RE.CO.R.D. Contrat 00-0118/1A Laboratoire LAEPSI, INSA de Lyon, Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables, février 2002.
- [11] ATTOU.F : Caractérisation du lixiviat de la décharge de Oued Smar et estimation de son impact sur la nappe souterraine. Projet de fin d'étude, E.N.P, 1990.
- [12] Cahiers technique de Centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet, 2008.
- [13] F.MAMMERY : caractérisation des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet et proposition d'un traitement. Projet de fin d'étude, E.N.P, 2007.
- [14] Céline BERTHE : Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés, Thèse de doctorat, UNIVERSITE DE LIMOGES, décembre 2006.
- [15] Mathieu GAUTIER : Interactions entre argile ammoniée et molécules organiques dans le contexte du stockage des déchets, Cas de molécules à courtes chaînes. Thèse de doctorat, UNIVERSITÉ D'ORLÉANS, avril 2008.
- [16] BILLARD.H : Centre de stockage de déchets « exploitation » Technique de l'ingénieur, Traité environnement, G2-102, (date non mentionnée),
- [17] LEVESQUE.L : Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. Chrome, Cuivre, Nickel, Rapport N°4, Paris, 1978.
- [18] D.J.V.CAMPBELL, A.PARKER, J.F.REES : attenuation of potential pollutants in land fill leachate by lower green sand, septembre 1982.
- [19] GRIFFEN, SHIMP : Attenuation of pollutants in municipals land fill leachate by passage through cly, EUV-SCI-technol, octobre 1976.
- [20] GILL FRIANT : Les décharges contrôlées des résidus urbains, risque de pollution des eaux ,Mai-Juin 1983.
- [21] Memento technique de l'eau, tome 1, Degrement, 1989.
- [22] Tonni Agustiono Kurniawan, Wai-hung Lo, and Gilbert YS Chan, Department of Applied Biology and Chemical Technology, The Hong Kong SAR Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong Received 13 April 2005; revised 2 August 2005; accepted 5 August 2005. Available online 28 November 2005.
- [23] HAMOURI.K et DJEMAA.R : Evaluation de la pollution des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet et proposition d'un traitement. Projet de fin d'étude, USTHB, 1989.

- [24] KURNIAWAN.T.A, Lo.W and YS Chan.G : Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate, Journal of Hazardous Materials , Volume 129, Issues 1-3, p 80-100, 2006
- [25] F.BOUDJLIDA, CHERFILM : contribution au traitement des lixiviats du centre d'enfouissement technique d'Ouled Fayet, Projet de fin d'étude, USTHB 2007.
- [26] N. Millot : Les lixiviats de décharges contrôlées. Caractérisation analytique et études des filières de traitement. Thèse de doctorat, INSA Lyon, 1986.
- [27] F. Ramade Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau : biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales. Ediscience, 1998.
- [28] THONART P., LARDINOIS M. RODRIGUEZ C., AWONO S. DESTAIN J. & S. HILLIGSMANN : La problématique de la gestion des déchets ménagers. Séminaire – Atelier Francophone sur la gestion des déchets ménagers à Saaba – Ouagadougou (Burkina Faso), (2002)
- [29] SWANA (1997). Leachate generation, collection and treatment at municipal solid waste disposal facilities. (Publication No. GR-D 0535), Solid Waste association of North America, Silver Spring, Maryland, 1997.
- [30] LU JCS., EICHENBERGER B., STEARNS B. : Leachate from municipal landfills: Production and management. Pollut. Tech. Rev. No, 1985.
- [31] MC BEAN A., ROVERS F.A. & FARQUHAR G.J. : Solid waste landfill Engineering and design. Edition Lavoisier, 1995.
- [32] GUYONNET D., DIDIER – GUELORGET B. PROVOST G. & FEUILLET C. Accounting for water storage effects in Landfill leachate modeling. Waste Management Research. 16 (3): 285- 295, 1998.
- [33] EL-FADEL M., FINDIKAKIS A.N., Leckie J. : Environmental Impacts of Solid Waste landill. Journal of Environmental Management, 1997.
- [34] REINHART D.R., POHLAND F.G. & STEVENS D.K. : Mathematical fate modelling of hazardous organic pollutants during codisposal with municipal refuse. Harzardous waste & Hazardous materials, 1991.
- [35] Nicolas BOUDESOCQUE, Contribution à l'étude de PLASMAS D'ARC IMMERGE Applications à la DECONTAMINATION et à la GAZEIFICATION d'EFFLUENTS ORGANIQUES AQUEUX, Thèse de doctorat, UNIVERSITE DE LIMOGE, juillet 2007.
- [36] GLAZE W.H., KANG J.W. et CHAPIN D.H. : The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation, Ozone Sci & Eng, 1987.
- [37] M. Edelahi, 'Contribution à l'Etude de Dégradation in situ des Pesticides par Procédés d'Oxydation Avancés Faisant Intervenir le Fer.Application aux Herbicides Phénylurées', Thèse de Doctorat, Université de Marne-La-Vallée, 2004.
- [38] ANDREOZZI R., CAPRIO V. et MAROTTA R., "Advanced Oxidation Processes (AOP) for water purification and recovery", Catalysis Today, 1999.
- [39] COQUE Y., "Proposition d'outils d'optimisation de procédé d'oxydation avancée (POA) par UV/H₂O₂", Thèse de l'université de Pau, 2002.
- [40] Hui Zhang, Heung Jin Choi and Chin-Pao Huang, Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate, 17 October 2005.
- [41] Yang Deng and James D. Englehardt, Treatment of landfill leachate by the Fenton process, December 2006.
- [42] Franck Rejsek, Analyses des eaux, aspects règlementaires et techniques, Bordeau 2002
- [43] Les éléments les plus significatifs de la microfaune des boues activées, Ph. DUCHENE, E. COTTEUX, TSM-9-93.
- [44] J-M. LAURET, E. PRUD'HOMME, Ph. SALMON. Recherche sur le traitement biologique des lixiviats des centres d'enfouissement technique, T.S.M.-L'EAU, Mars 1989.
- [46] JORA: Les valeurs limites des paramètres de rejet des effluents liquides industriels, n° 26, 24 Rabie El Aoeul , 23 Avril 2006.

Annexe

Détermination Demande chimique en oxygène (DCO) Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

Principe :

Oxydation chimique des matières réductrices par un excès de $K_2Cr_2O_7$. Cette oxydation se réalise en milieu sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) comme catalyseur et sulfate de mercure ($HgSO_4$), à ébullition à reflux pendant 2 heures dans un ballon ou un tube muni d'un réfrigérateur.

Réactifs :

- Acide sulfurique [H_2SO_4] à environ 4mol/l
- Acide sulfurique-sulfate d'argent
- Dichromate de potassium à 0,04 mol/l et contenant le sulfate de mercure (II)

Appareillage :

- Appareil à reflux
- Bloc chauffant
- Spectrophotomètre

Mode opératoire :

- Introduire dans un tube à fond plat de DCO 2,5 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 1,5 ml de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ (qui contient 0,4g de $HgSO_4$).
- Ajouter lentement et avec précaution 3,5 ml d'acide sulfurique-sulfate d'argent en agitant soigneusement le tube et en refroidissant sous un courant d'eau froide de façon à éviter toute perte de substances organiques volatils.
- Porter à l'ébullition dans un bloc chauffant pendant 2 h.

Expression des résultats :

- Effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 600$ nm.
- La teneur en DCO est déduite du graphe d'étalonnage.

Annexe

Détermination de la Demande Biochimique en Oxygène NFT 90-103

Principe :

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermo-staée est mis à incuber en présence d'air. Les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène en provenance du volume d'air situé au dessus de l'échantillon. L'anhydride carbonique (CO₂) formé est piégé par l'hydroxyde de potassium. Cette détermination en oxygène crée une dépression qui est enregistrée par une élévation du niveau de mercure.

Méthodes instrumentales :

Mode opératoire :

Prise d'essai dépend de la charge de l'échantillon, celle-ci dépend de l'origine de l'échantillon industriel ou urbain, de la couleur, de l'odeur et de la charge en matières en suspension. Voici le volume de l'échantillon d'après la DBO présumée

La charge	DBO présumé e mg/l	Prise d'essai	facteur	La charge	DBO présumée mg/l	Prise d'essai	facteu r
Très faible	0 - 40	432	1	Très faible	0 - 35	428	0.1
Faible	0 - 80	365	2	Faible	0 - 70	360	0.2
Moyenne	0 - 200	250	5	Moyenne	0 - 175	244	0.5
Plus que la moyenne	0 - 400	164	10	Plus que la moyenne	0 - 350	157	1.0
Un peu chargée	0 - 800	97	20	Chargée	0 - 700	94	2.0
Chargée	0 - 2000	43.5	50	Très chargée	0 - 1400	56	4.0
Très chargée	0 - 4000	22.7	100				

Annexe

Dosage des MES par centrifugation NFT 90-015

Principe :

la séparation des MES de l'eau se fait par centrifugation. L'échantillon est mis en rotation à grande vitesse. L'application de la force centrifuge sur les particules solides permet de les rassembler dans le fond du tube sous forme d'un culot. Ce culot sera lavé puis récupéré et mis à sécher à 105°C. Le résidu sec est ensuite pesé. Il correspond aux MES contenues dans l'échantillon.

Appareillage :

- Centrifugeuse
- Dessiccateur

Mode opératoire :

- Attendre que les échantillons soient à température ambiante.
- Homogénéiser le contenu du flacon par agitation.

Si cela est possible, introduire la totalité de l'échantillon dans le pot de la centrifugeuse, de volume de 200 à 500 ml, et centrifuger 20mn environ. Le volume V_E en ml doit conduire la pesée d'au moins 30mg de MES.

- Eliminer l'eau surnageante, remettre en suspension le culot dans de l'eau distillée (en remplissant jusqu'au niveau initial) et centrifuger 20mn.

- Recueillir le culot déposé dans une capsule préalablement séchée à 105°C et pesée à 0,1 mg près : M_1 . Rincer le pot de centrifugation deux fois, avec chaque fois environ 20ml d'eau distillée et recueillir les eaux d'entraînement dans la capsule.

- Sécher ensuite la capsule et son contenu à 105°C \pm 2°C, laisser refroidir dans un dessiccateur et peser à 0,5 mg près : M_2 . Recommencer les opérations de séchage, de refroidissement et de pesée jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives ne dépasse pas 0,5mg.

Expression des résultats : La teneur en MES est calculée à partir de la formule suivante :

$$[\text{MES}] = (M_2 - M_1) \cdot 1000 / V_E \quad (\text{mg.l}^{-1})$$

Annexe

Détermination des MVS

Principe :

Les matières organiques ont la propriété d'être minéralisées à haute température :

Matières Organiques(C, H, O, N...) ----- CO₂ + H₂O + NH₃ + H₂S...

Les molécules produites par calcination de la MO sont sous forme gazeuse à haute température et vont donc se volatiliser. C'est pour cette raison que l'on détermine la teneur en MO par calcination à 550°C et par pesée du résidu (les cendres) qui représente les matières minérales. Par différence entre la masse de matières sèches initiale et la masse de matières minérales restante, on détermine la masse de matières organiques.

On peut donc écrire :

$$\text{MES} = \text{Matières organiques (MVS)} + \text{Matières minérales (MM)}$$

Mode opératoire :

Cette analyse peut être effectuée après la détermination des MES.

- A la fin de cette analyse, déterminer le poids P₁ en g, correspond au poids de la coupelle en porcelaine et des matières sèches qu'elle contient.
- Placer ensuite la coupelle en porcelaine dans un four à 550°C pendant une durée de 2 heures.
- Après refroidissement dans un dessiccateur, la coupelle, ne contient plus que de les cendres, est à nouveau pesée : poids P₂ en g.

La différence (P₂ - P₁) représente le poids des MVS de l'échantillon.

Expression des résultats :

Le taux de MVS en % est donnée par la formule suivante :

$$\text{MVS en \%} = (P_1 - P_2 / P_1 - P_0) * 100$$

P₀: poids de la coupelle vide initialement.

Annexe

Dosage Des Nitrites (NO_2^-) ISO 6777-1984

Principe :

Les nitrites réagissent avec la sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N-1-Naphtyléthylènediamine dichlorure donne naissance à une coloration rose mesurée à 543 nm.

Réactifs :

- Réactifs mixte : Sulfanilamide
- Acide phosphorique
- N-1- Naphtyléthylènediamine H₂O distillé

Appareillage :

Spectrophotomètre UV-V

Mode opératoire :

- Dans une fiole jaugée introduire 1ml de l'échantillon à analyser
- Ajouter de l'eau distillée pour amener le volume à environ 40ml.
- Prévoir une fiole avec 40ml d'eau distillée pour le blanc réactif.
- Ajouter 1ml de réactifs mixte
- Compléter jusqu'au 50ml avec de l'eau distillée
- Au moins 20mn après l'ajout du réactif.

L'apparition de la coloration rose indique la présence des nitrites.

Expression des résultats :

- Effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 543 \text{ nm}$.
- La teneur en nitrates est déduite du graphe d'étalonnage.

Annexe

Dosage des nitrates (NO₃⁻) **ISO 7890-3 et NFT 90-045**

Principe :

En présence de salicylate de sodium, le nitrate donne du paranitrozonylate de sodium de couleur jaune susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à 0,5%
- Solution d'hydroxyde de sodium à 30%
- H₂SO₄ concentré
- Tartrate double de sodium et de potassium :
 - Hydroxyde de sodium
 - Tartrate de sodium et de potassium
 - Eau distillée

Appareillage :

- Spectrophotomètre UV-Vis

Mode opératoire :

- Prendre 10ml de l'échantillon à analyser.
 - Ajouter 2à3 gouttes de NaOH à 30%.
 - Evaporer à sec au bain marie à température comprise entre 75°C et 88 °C puis laisser refroidir.
 - Dissoudre le résidu dans 2ml de H₂SO₄, laisser au repos 10min.
 - Ajouter 15ml de l'eau distillée et 15ml de tartrate double de sodium et de potassium
- Expression des résultats :** les résultats sont déduits à partir de la courbe d'étalonnage.

Annexe

Dosage De L'Azote Ammoniacal (NH_4^+) ISO 7150/1-1984

Principe :

Mesure spectrophotométrique à 655nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium comme catalyseur.

Réactifs :

Réactif A : Acide dichloroisocyanurique. Hydroxyde de sodium. Eau distillée Réactif B : Tri citrate de sodium. Salicylate de sodium. Nitroprussiate de sodium. Eau distillée

Appareillage :

Spectrophotomètre UV-V

Mode opératoire :

- Introduire dans une fiole 1ml de l'échantillon à analyser
- Compléter à 100ml avec de l'eau distillée et mélanger.
- Prélever 10ml de cette dernière solution et ajouter 4ml de réactif A+ 4ml de réactif B
- Compléter jusqu'à 50ml par de l'eau distillée
- Prévoir une fiole avec 10ml d'eau distillée pour le blanc réactif
- Laisser reposer pendant 1h 30mn

Effectuer la lecture spectrophotométrique à 655 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

Annexe

Dosage de l'azote Kjeldahl NTK

Norme NF EN 25663

Principe :

Transformation de l'azote organique en azote ammoniacal que l'on sépare et mesure par titrage.

Réactifs :

- Acide sulfurique pur H₂SO₄ (pur à 98%, d=1.84).
- Catalyseur de minéralisation : sulfate de potassium (99.5 g) + sélénium en poudre (5 g).
- Solution d'acide borique : acide borique (10 g) + eau distillée (qsp 1000 ml).
- Solution d'hydroxyde de sodium 30%
- Solution d'acide sulfurique à 0.1 N.
- Indicateur de Tashiro (bleu de méthylène + rouge de méthyle).

Appareillage :

- Digesteur (Gerhardt)
- Distillateur (Gerhardt)

Mode opératoire :

- Minéralisation : Prendre 50ml d'échantillon + 1g de catalyseur + 10 ml d'acide sulfurique pur + 4heures de minéralisation, à la fin laisser refroidir à température ambiante.
- Distillation : Après avoir transvasé le contenu de chaque tube dans une éprouvette, diluer jusqu'à 100ml Fixer le tube dans le distillateur, l'ajout de la solution NaOH se fait de manière automatique, tout comme la distillation et le nettoyage.

Expression des résultats :

par titrage avec de l'acide sulfurique à 0.1 N jusqu'au virage de couleur.

$$NTK = \frac{VE \times C \times 14 \times 1000}{P} \text{ (mg/l)}$$

VE: volume en ml de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage.

C : la concentration en mol/l de l'acide sulfurique.

P : le volume de la prise d'essai.

Annexe

Dosage Des Sulfates (SO_4^{2-}) Méthode turbidimétrique

Principe :

Cette méthode est basée sur le fait que les ions SO_4^{2-} se précipitent en milieu acide et en présence du chlorure de baryum (BaCl_2) pour former (BaSO_4).

Réactifs :

- Solution stabilisante : (chlorure de magnésium, acétate de sodium, nitrate de potassium, acide acétique).
- Chlorure de baryum.

Mode opératoire :

- Prélever 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 ml de solution stabilisante et agiter.
- Rajouter 0,04 g de chlorure de baryum, agiter pendant 1 minute puis verser la suspension dans la cellule du photomètre.
- Attendre 3 à 4 minutes pour effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 420 \text{ nm}$.
- Essai à blanc : sur une eau déminéralisée nous procédons aux mêmes étapes mais sans ajouter le chlorure de baryum.

Annexe

Dosage Des Ortho phosphates (PO₄³⁻) ISO 6878/1-1986

Principe :

Les ions orthophosphates en solution acide (H₂SO₄) et en présence d'ions molybdate et antimoine forment un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate qui, après réduction par l'acide ascorbique, donne un complexe de molybdène fortement coloré en bleu. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double de potassium et d'antimoine. La mesure de l'absorbance de ce complexe se fait à 880nm et permet de déterminer la concentration en orthophosphates de l'échantillon.

Appareillage :

Spectrophotomètre UV-V

Réactifs :

Réactif mixte : - Heptamolybdate d'ammonium. - Eau distillée - Tartrate de potassium d'antimoine hemihydraté. - Eau distillée. - Acide sulfurique pur. - Eau distillée. Réactif phosphate : (Réactif A + Réactif B) + Réactif C = 500ml (stable 2mois) .

Mode opératoire :

- Introduire dans une fiole 1ml de l'échantillon à analyser diluer à environ 50ml avec de l'eau distillée.
- Prélever 40ml de cette dernière solution ;
- Ajouter 1ml d'acide ascorbique
- Ajouter 2ml d'Heptamolybdate d'ammonium
- Compléter jusqu'à 50ml
- Prévoir une fiole avec 40ml d'eau distillée pour le blanc réactif
- Le développement de la couleur bleu après 30mn indique la présence de PO₄³⁻.
- Effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 700 \text{ nm}$.
- La teneur en orthophosphates est déduite du graphe d'étalonnage.

Annexe

Dosage des métaux ISO N° 82-88

Procédure d'analyse :

- Attaquer les échantillons avec (5ml HNO₃ + 2 ml H₂O₂) pour 100 ml d'échantillon
- Procéder à la digestion des échantillons dans des fioles de 100 ml et ajuster avec de l'eau distillée.
- Passer à la détermination des métaux (Cd, Cr, Cu, Co, Ni, Fe, Pb, Zn) par la spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

Expression des résultats : le résultat est donné directement en mg/l.

ملخص:

أثبتت دراسة لخصائص المياه الناتجة عن مركز الدفن التقني أن هاته الأخيرة تحتوي على نسبة كبيرة من التلوث حيث بلغت القيم المتوسطة لكل من الـ DCO و DBO₅ : **30450 مغ/ل** و **10000 مغ/ل** على التوالي.

خضعت هاته المياه لمعالجة ازدواجية : الأولى بطريقة بيولوجية بواسطة الوحل المنشط، و الثانية بطريقة الأكسدة المتقدمة (أكسدة فانتن). ولقد أعطت نتائج المعالجة انخفاضات مهمة في الحمولة المعدنية و العضوية (مردودية الـ DCO بلغت **62.66%** بنسبة للمياه القذرة الفتية)

كلمات مفتاحية: الخصائص، معالجة المياه القذرة، الوحل المنشط، أكسد فانتن.

Résumé :

L'étude de la caractérisation des lixiviats jeunes du CET d'Ouled Fayet a montré que ces derniers présentent une très forte charge polluante. La DCO et la DBO₅ atteignent des niveaux moyens respectivement de l'ordre de **30466,6 mg/l et 1000 mg/l**.

Ces lixiviats ont fait l'objet d'une combinaison de deux traitements, le premier est biologique par boue activée, et le deuxième, traitement par oxydation avancée « Oxydation-Fenton ». Ce traitement a abouti sur un abattement relativement important de la charge organique et minérale (rendement sur la DCO de **62,66%** pour le lixiviat jeune).

Mots clés: caractérisation, traitement des lixiviats, boues activée, oxydation Fenton

Abstract :

Characterisation study of Ouled Fayet CET young leachates shows that they are highly pollutant. Indeed, DCO and DBO₅ ratios reach an average level of about **84386,6 mg/l and 10000 mg/l** respectively. These leachates were been the subject for a combination of tow treatments, the first is a biological treatment by activated sludge, and the seconde, treatment by advanced oxidation « Fenton-oxydation ». These treatments allow to drastically reduce both organic and mineral charge (**62,66%** for the young leachate).

Keyword: characterisation,, leachates treatment, activated sludge, Fenton-oxydation .